



**Mariana Ramos
Chaves**

**Análise Energética e Avaliação de Sistema AVAC no
Edifício Sede da Empresa Sondar.i**



**Mariana Ramos
Chaves**

**Análise Energética e Avaliação de Sistema AVAC no
Sede da Empresa Sondar.i**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho a minha família pelo apoio e incentivo.

o júri

presidente

Prof. Doutor Luís António da Cruz Tarelho
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Engenheiro Miguel da Silva Oliveira
assistente convidado da Universidade de Aveiro

palavras-chave

Simulação dinâmica, DesignBuilder, análise energética, eficiência energética

resumo

O objetivo principal deste projeto é realizar uma avaliação energética de uma fração do edifício de escritórios e armazéns, onde se encontra a empresa Sondar.i, no Centro Empresarial da Gafanha da Nazaré, em Ílhavo e dimensionar um sistema de climatização apropriado que substitua os aquecedores a óleo e halogéneo, atualmente responsáveis pela climatização na estação de aquecimento.

No presente trabalho de projeto são avaliados os consumos efetivos energéticos da Sondar.i, obtidos a partir do levantamento dos equipamentos instalados, da potência de cada equipamento e os respetivos perfis de utilização e é criado um modelo do edifício no software *Designbuilder®* para avaliar o comportamento de diferentes sistemas de climatização que se pretende estudar.

São avaliados dois sistemas de climatização para três diferentes níveis de climatização: aquecimento; aquecimento e arrefecimento; e aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica.

Dos sistemas avaliados é sugerido a implementação do sistema com a bomba de calor pois apresenta menor consumo energético e instalação mais apelativa.

keywords

Dynamic simulation, *Designbuilder®*, energy analysis, energy efficiency

abstract

The main objective of this project is to carry out an energy evaluation of a fraction of the office and warehouse building, where the company Sondar.i is located, in the Business Center of Gafanha da Nazaré, in Ílhavo and design an appropriate air conditioning system that replaces the heaters oil and halogen, currently responsible for air conditioning in the heating season.

In the present project work the actual energy consumption of Sondar.i, obtained from the surveying of the installed equipment, the power of each equipment and the respective utilization profiles, is evaluated, and a building model is created in the *Designbuilder®* software to evaluate the behaviour of different air conditioning systems to be studied.

Two air conditioning systems are evaluated for three different levels of air conditioning: heating; heating and cooling; and heating, cooling and mechanical ventilation.

From the evaluated systems, it is suggested to implement the system with the heat pump because it presents less energy consumption and more appealing installation.

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	V
LISTA DE ACRÓNIMOS	VI
1. Introdução	1
2. Apresentação do Problema	3
2.1 Objetivos do projeto	3
2.2 Organização do documento	5
3. Revisão bibliográfica	7
3.1 Conforto	8
3.2 Qualidade do Ar Interior (QAI)	9
3.3 Eficiência energética em Edifícios	11
3.4 Simulação Dinâmica	13
3.5 Tecnologia disponível	14
4. Caso de Estudo: Sondar.i	21
4.1 Metodologia	21
4.2 Características do Edifício	22
4.3 Modelo energético do edifício	25
5. <i>Designbuilder</i> ®	29
5.1 Clima	29
5.1.1 Exposição Solar	30
5.2 Taxas de ocupação	33
5.3 Soluções construtivas	35
5.4 Iluminação	38

5.5	Equipamentos	39
5.6	Comportamento do edifício	40
6.	Análise de medidas de eficiência energética	43
6.1	Sistema 1	43
6.1.1	Aquecimento	44
6.1.2	Aquecimento e Arrefecimento	45
6.1.3	Aquecimento, Arrefecimento e Ventilação Mecânica	47
6.2	Sistema 2	48
6.2.1	Aquecimento	48
6.2.2	Aquecimento e Arrefecimento	49
6.2.3	Aquecimento, Arrefecimento e Ventilação Mecânica	51
6.3	Iluminação	52
7.	Análise económica	55
7.1	Caldeira a Gás Natural	55
7.2	Ar Condicionado	56
7.3	Bomba de Calor	56
7.4	Ventilação Mecânica	57
7.5	Custos de operação	57
7.6	Iluminação	59
8.	Conclusão	61
8.1	Conclusões gerais	61
8.2	Proposta para trabalho futuro	63
9.	Bibliografia	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Classes energéticas dos edifícios ⁸	12
Figura 2 – Sistema Simples de Compressão de vapor	16
Figura 3 – Sistema simples de absorção de vapor	17
Figura 4 – Tipos de bombas de calor geotérmicas	19
Figura 5 – Planta do 2º Andar (Escritórios da Sondar)	22
Figura 6 – Divisão atual do 2º andar	23
Figura 7 - Planta 1º Andar (Armazém Sondar)	23
Figura 8 – Fachada do Edifício.....	24
Figura 9 – Gráfico com o consumo real de eletricidade no ano de 2015	25
Figura 10 – Representação gráfica da repartição de consumos energéticos por utilização, durante 1 ano	28
Figura 11 – Dados climáticos para Ílhavo, altitude de 5m	30
Figura 12 - Incidência Solar do dia 15 de Janeiro as 9h.....	31
Figura 13 - Incidência Solar do dia 15 de Janeiro as 16h.....	31
Figura 14 - Incidência Solar do dia 15 de Julho as 9h.....	32
Figura 15 – Incidência Solar do dia 15 de Julho as 16h	32
Figura 16 – Horário e taxa de ocupação	33
Figura 17 – Envolvente exterior (Escritórios)	35
Figura 18 – Envolvente exterior (Armazém).....	35
Figura 19 – Divisórias dos escritórios	36
Figura 20 – Pavimento do Armazém.....	36
Figura 21 – Pavimento dos escritórios	37
Figura 22 – Variação da temperatura diária no Escritório Amplo	40
Figura 23 - Variação da temperatura diária no Escritório 2	41

Figura 24 – Desagregação de consumos para a caldeira a gás 44

Figura 25 – Temperatura do ar no “Escritório 2” com aquecimento (caldeira a gás) 45

Figura 26 - Desagregação de consumos para a caldeira a gás e ar condicionado 46

Figura 27 - Temperatura do ar no “Escritório amplo” com arrefecimento (ar condicionado)
..... 46

Figura 28 - Desagregação de consumos para caldeira, ar condicionado e ventilação
mecânica 47

Figura 29 – Desagregação de consumos para a bomba de calor 48

Figura 30 - Temperatura do ar no “Escritório 2” com aquecimento (bomba de calor) 49

Figura 31 - Desagregação de consumos para bomba de calor e ar condicionado 50

Figura 32 - Temperatura do ar no “Escritório amplo” com arrefecimento (ar condicionado)
..... 50

Figura 33 - Desagregação de consumos para bomba de calo, ar condicionado e ventilação
mecânica 51

Figura 34 – Consumos com a iluminação atual e LED 53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Eletricidade consumida pela iluminação 26

Tabela 2 - Eletricidade consumida por equipamentos 27

Tabela 3 – Densidade de ocupação 34

Tabela 4 – Densidade de iluminação 38

Tabela 5 – Equipamentos e potência por m² 39

Tabela 6 – Potência por m², para lâmpadas LED 52

Tabela 7 – Orçamento para o sistema de aquecimento com caldeira a gás natural..... 55

Tabela 8 – Orçamento para o sistema de ar condicionado 56

Tabela 9 – Orçamento para o sistema de aquecimento com bomba de calor 56

Tabela 10 – Orçamento para o sistema de ventilação mecânica 57

Tabela 11 - Despesa associada ao sistema de climatização atual..... 58

Tabela 12 – Despesa associada aos três níveis de climatização do Sistema 1 58

Tabela 13 - Despesa associada aos três níveis de climatização do Sistema 2 58

Tabela 14 - Poupança económica, com lâmpadas LED 59

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COP – *Coefficient of Performance*

ERR – *Energy Efficiency Ratio*

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

RECS – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

1. Introdução

Atualmente, a previsão da escassez dos combustíveis fósseis, a poluição da atmosfera, as mudanças climáticas e a, cada vez maior, aposta na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, são assuntos que fazem parte do nosso dia-a-dia.

Apesar da preocupação com o anunciado fim dos combustíveis fósseis e o crescente nível de poluição, existe cada vez mais procura por estes recursos, assim como aumento do consumo da energia elétrica, principalmente por países em expansão económica, como o Brasil, a Índia e a China. Assim, é cada vez mais evidente a necessidade de apostar na produção de energia a partir de fontes alternativas e sobretudo renováveis. Contudo, existe um longo caminho até que estas se tornem uma alternativa real, com peso significativo face às necessidades mundiais. É então absolutamente necessário encontrar soluções para continuar a satisfazer as necessidades da sociedade de forma sustentável, ao diminuir o consumo de energia mas mantendo os mesmos resultados e os mesmos níveis de conforto, uma vez que a energia elétrica se tornou um bem essencial para o dia-a-dia e para a economia. Surge então a eficiência energética, que pretende otimizar processos e diminuir o consumo de energia. A eficiência energética aplica-se a todos os equipamentos e sistemas consumidores de energia elétrica, inclusive sistemas tão complexos como edifícios.

Sabe-se que o sector dos edifícios consome atualmente cerca de 40% do consumo total de energia na Europa. Como a maior parte da energia consumida pelos edifícios destina-se ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior torna-se necessário encontrar soluções para reduzir o consumo de energia com os sistemas de climatização mantendo ou aumentando o nível de conforto e bem-estar dos ocupantes.¹

Após o Protocolo de Quioto, uma das muitas iniciativas para discutir e solucionar os problemas ambientais, ficou definido que cada país deveria criar políticas energéticas com o objetivo de diminuir os consumos de energia. Estas políticas energéticas passam pela criação de modelos energéticos racionais e sustentáveis para os diferentes setores, como a setor dos transportes, da indústria e dos edifícios.

Para diminuir e regular os consumos no setor dos edifícios, o Parlamento Europeu criou a Diretiva 2002/91/CE, esta diretiva apresenta um modelo energético que define os requisitos mínimos para que os edifícios sejam energeticamente eficientes e determina a

obrigatoriedade da certificação energética dos edifícios. Em 2010 esta diretiva foi revista dando origem a um novo documento, a Diretiva 2010/31/CE. O objetivo da certificação energética é classificar o imóvel de acordo com a sua eficiência energética e identificar as medidas a implementar para melhorar o desempenho energético deste, este relatório informa a população da qualidade energética dos imóveis, quando estes são construídos, vendidos ou arrendados, indicando assim os principais gastos com energia.¹

Portugal já possuía legislação sobre os requisitos para o conforto térmico nos edifícios, anterior a criação da primeira diretiva europeia e do protocolo de Quioto, o Decreto de Lei nº 40/1990, de 6 de fevereiro, conhecido como RCCTE, Regulamento das Características de Conforto Térmico nos Edifícios. Este decreto foi entretanto revisto e atualizado de acordo com as alterações introduzidas pelas diretivas europeias, foi então criado o Decreto de Lei nº 118/2013, de 20 de Agosto, no qual figuram o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Estes regulamentos mostram os requisitos mínimos de conforto e eficiência energética a que os edifícios novos são obrigados a cumprir, e que os edifícios existentes e os sujeitos a grandes intervenções devem tentar alcançar. É neste ponto que a certificação energética entra, não só para classificar a eficiência energética de um edifício mas para fiscalizar e fazer cumprir os requisitos mínimos, durante a fase de criação do projeto de um novo edifício ou reabilitação de um existente como também durante a fase implementação do projeto. A fiscalização durante a fase de obras pode identificar e solucionar problemas que mais tarde levariam a novas intervenções. Mas não basta ter um bom projeto, a instalação correta de sistemas deve ser obrigatória e realizada por mão-de-obra qualificada, para se obter o máximo de eficiência energética nos sistemas de climatização, responsáveis pela maior fatia de energia consumida em edifícios. A manutenção destes sistemas é igualmente importante, pois ao longo do tempo a eficiência e eficácia diminuem.

Neste trabalho é estudado e analisado um edifício existente, composto por dois tipos de espaços com diferentes utilizações, uma parte deste edifício é destinado a escritórios e a outra a armazém.

2. Apresentação do Problema

No âmbito da disciplina de dissertação para a conclusão do Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis da Universidade de Aveiro, foi realizado um projeto de avaliação de consumos efetivos e de simulação dinâmica para a fração de um edifício, onde opera a empresa Sondar.i.

A Sondar.i é uma empresa que trabalha na área da avaliação da qualidade do ar e na caracterização de efluentes gasosos em fontes fixas. Esta empresa está sediada no Centro Empresarial da Gafanha da Nazaré, especificamente num 2º andar com fachadas envidraçadas viradas a sul e a poente.

As características deste edifício tornam este espaço frio durante o período de Inverno e quente no período de Verão, o que torna este espaço de trabalho extremamente desconfortável para quem aqui trabalha. Além do desconforto sentido impõe-se outro problema, a inexistência de um sistema de climatização adequado, o único tipo de climatização das áreas de trabalho verifica-se durante o período de Inverno e consiste na utilização de aquecedores de óleo e de halogéneo, equipamentos de remedeio ineficazes em grandes espaços e que consomem muita energia.

2.1 Objetivos do projeto

Este trabalho tem então como propósito realizar uma avaliação energética da sede da Sondar.i através dos consumos efetivos e realizar a simulação de um modelo deste espaço utilizando o software *Designbuilder®*, para analisar as várias opções dos sistemas de climatização disponíveis no mercado e adequados a este espaço, para assim melhorar o conforto térmico para todos os que aqui trabalham.

Para realizar a simulação e análise energética do edifício é necessário fazer o levantamento dos parâmetros sensíveis energéticos, da qualidade do ar e conforto interior. A análise energética de um edifício assenta na caracterização dos seguintes pontos:

- Envolvente do edifício;
- Sistemas de Climatização e Ventilação;
- Ocupação, atividade e padrões de utilização;
- Iluminação;
- Equipamentos.

A análise energética tem como principal objetivo identificar os sistemas e equipamentos que consomem mais energia e estudar alternativas que promovam a poupança de energia, numa ótica de eficiência energética e de utilização racional de energia, que leva a reduções dos consumos energéticos e respetiva fatura. Neste caso pretende-se analisar sistemas de climatização para a sede da Sondar.i que substituam os aquecedores a óleo e aumentar o conforto térmico destes espaços principalmente na estação de Inverno.

As possibilidades no mercado são muito amplas e diversas, tendo sido aplicadas as mais comuns e de certo modo mais lógicas, alternado equipamentos que possibilitaram a análise energética das diferentes soluções:

- Caldeira a Gás Natural;
- Ar condicionado;
- Bomba de Calor;
- Ventilação mecânica com recuperação de calor.

Neste trabalho pretende-se analisar e quantificar os impactos energéticos resultantes da aplicação de diferentes sistemas de climatização, promovendo uma utilização mais racional da energia, garantir a qualidade do ar interior e fazer uma análise económica da implementação de cada solução.

2.2 Organização do documento

Este documento foi organizado do seguinte modo:

Capítulo 1 – Este capítulo introduz de forma resumida o contexto em que se insere o trabalho, relacionando a criação de legislação sobre o consumo energético dos edifícios, com a crescente preocupação com a temática energética e emissão de poluentes.

Capítulo 2 – É descrito o problema e são definidos os objetivos do trabalho.

Capítulo 3 – É feita uma revisão bibliográfica sobre o conforto, a qualidade de ar interior, a legislação em vigor, a simulação dinâmica de edifícios e as tecnologias dos sistemas de climatização que podem ser implementadas no edifício.

Capítulo 4 – Descrição da metodologia usada para a realização deste projeto, descrição da localização da fração do edifício em estudo e avaliação da desagregação dos consumos energéticos verificados na situação atual.

Capítulo 5 – É feita uma descrição do edifício em estudo e das principais características do ponto de vista da envolvente, iluminação, ocupação, sistemas de produção de energia térmica e todo o tipo de horários de funcionamento, informação relevante para criar o modelo do edifício no DesignBuilder.

Capítulo 6 – É realizada a simulação de várias tecnologias para realizar a climatização e a respetiva análise dos consumos obtidos.

Capítulo 7 – Neste capítulo é realizada uma avaliação dos custos com a instalação de cada sistema e dos custos associados aos consumos dos sistemas.

Capítulo 8 – São apresentadas as conclusões obtidas pela comparação dos sistemas estudadas e é sugerida a implementação do sistema mais económico do ponto de vista dos consumos. Posteriormente é efetuada uma reflexão face a possíveis trabalhos futuros que possam complementar as conclusões aqui expostas.

3. Revisão bibliográfica

Neste capítulo é feita a revisão bibliográfica dos assuntos relevantes para o desenvolvimento deste projeto e a sua metodologia.

O primeiro ponto a ser pesquisado e estudado é o conforto e a caracterização deste, pois este é um fator muito importante quando se pretende avaliar sistemas de climatização, estes só serão eficazes e viáveis se criarem as condições que proporcionam conforto ao maior número de pessoas.

A qualidade do ar interior é outro fator que pode influenciar o conforto sentido pelos utilizadores, mas é abordado separadamente pois quando não existe ventilação adequada de um espaço podem surgir diversos problemas de saúde nas pessoas que frequentam estes espaços. Muitas vezes o sistema de climatização está acoplado ao sistema de ventilação mecânica.

Seguidamente é abordada a legislação em vigor que regula o comportamento térmico dos edifícios, desde as soluções construtivas da envolvente do edifício, os fatores de exposição solar, até aos sistemas energéticos. Neste ponto é também abordado a certificação energética e o processo de auditoria energética, para calcular a classe energética do edifício que passou a ter caráter obrigatório segundo a legislação atualmente em vigor.

O quarto assunto da revisão bibliográfica é a simulação dinâmica de edifícios. Existem vários programas de computador que executam este método de cálculo para estudar o comportamento térmico e energético de um edifício e auxiliar no processo de auditoria energética.

Por último, é feita uma compilação dos diferentes sistemas de climatização disponíveis no mercado, para um melhor entendimento do seu funcionamento. Estes sistemas serão introduzidos no programa de simulação para se poder analisar a sua eficiência no edifício em estudo e os consumos de energia de cada um, com o objetivo de escolher o mais adequado.

Além dos sistemas de climatização, também são estudadas outras tecnologias que podem diminuir o consumo de energia se substituírem os equipamentos atuais.

3.1 Conforto

Nos tempos modernos, a maioria das pessoas passam a maior parte da sua vida dentro de edifícios, nas suas habitações, no trabalho, nas escolas; então é necessário tornar estes espaços o mais confortáveis possível, quer pelo bem da saúde, pelo conforto ou até pela produtividade.

O conforto num determinado ambiente é um conceito subjetivo, uma vez que depende de pessoa para pessoa e como cada um tem uma sensação diferente do que o rodeia então é impossível satisfazer as necessidades de conforto de todos os indivíduos. Existem vários tipos de conforto quando analisamos um determinado ambiente, o conforto higrotérmico, o visual, o acústico, o psicológico entre outros, para este trabalho é importante destacar o térmico e o visual.

Como os edifícios estão sujeitos às condições climáticas, a ventilação natural e a exposição solar é necessário recorrer a diversos meios para climatizar os espaços interiores de forma a proporcionar o conforto desejado pelos utilizadores. Para atingir este objetivo recorre-se a meios mecânicos, mas a utilização destes aumente significativamente o consumo da eletricidade. A questão que se impõe é como devem estes mecanismos ser programados para proporcionar conforto ao maior número de indivíduos.

O conforto térmico é definido na norma ISO 7730 como "a satisfação expressa quando sujeito a um determinado ambiente térmico". Para que um espaço seja termicamente confortável é preciso determinar um intervalo de temperatura em que a maioria dos utilizadores de sintam confortável, o que vai depender de fatores ambientais, pessoais e até culturais. O estudo do conforto térmico envolve diversas áreas de estudo como a engenharia, a medicina e até a psicologia, nos estudos sobre o conforto térmico destacam-se duas abordagens gerais diferentes, a estática e a real ou de campo.

O estudo do estado estático realiza-se numa câmara climática onde as condições de temperatura, humidade, velocidade do ar são controladas, as variáveis pessoais como a roupa e a taxa metabólica são determinadas pela tarefa realizada. No caso do estudo em situação real, este decorre numa situação normal do dia-a-dia, por exemplo no local de trabalho onde não há controlo do meio ambiente. O valor da roupa, determinada pela unidade clo, e a taxa metabólica, determinada pela unidade met, dos indivíduos em estudo são registados. Neste

estudo são ainda observadas as influências indiretas como os fatores culturais, psicológicos e o desempenho térmico do edifício. A partir deste estudos pode-se determinar em que intervalos de temperatura, humidade e velocidade do ar uma pessoa se sente confortável.²

O conforto térmico implica um balanço energético entre o calor gerado e o calor perdido pelo corpo humano e pode ser quantificado através da equação de Fanger utilizada para determinar indicadores de conforto. Na equação de Fanger os parâmetros considerados são a taxa metabólica (met), o índice de roupa (clo), a velocidade do ar (m/s), a temperatura média radiante (°C), a temperatura seca (°C) e a pressão de vapor (kPa).

Segundo a legislação portuguesa referente ao Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritórios e Serviços, a temperatura deve oscilar entre os 18°C e os 20°C, com exceção de determinadas condições climáticas em que a temperatura pode chegar até aos 25°C.

O conforto visual é outro componente importante do conforto e é definido pela ISO 12665 como "uma sensação subjetiva do bem-estar visual induzido pelo ambiente visual". Daqui se deduz que a determinação do conforto visual é apenas qualitativa, mas existem uma variedade de parâmetros que podem ajudar na determinação do conforto visual como a iluminação no espaço interior, luminosidade, iluminância, a distribuição da iluminância, o brilho, aspetos de cor, requisitos de eficiência energética, benefícios adicionais da luz do dia e variação da luz ao longo do dia.³ Ao determinar estes fatores podemos adequar a iluminação de acordo com o trabalho a executar sem prejudicar a visão e sem esquecer o conforto.

3.2 Qualidade do Ar Interior (QAI)

No interior dos edifícios é importante avaliar a qualidade do ar que se respira devido a elevada quantidade de tempo que as pessoas passam em ambientes fechados, pois a má qualidade do ar induz riscos de saúde e bem-estar. Principalmente em grupos de pessoa consideradas mais vulneráveis, devido a fatores de idade e de saúde como crianças e idosos, podem-se desenvolver patologias como irritações da pele, olhos e vias respiratórias ou até infeções.⁴

Existem inúmeros poluentes que comprometem a qualidade do ar interior, estes podem se originar devido à libertação de partículas dos materiais de construção, produtos de limpeza, sistemas de climatização com má manutenção, combustão, tabaco, etc. Podem ainda existir casos que promovam ao desenvolvimento de espécies de bactérias, fungos e bolores.⁵

A qualidade do ar interior está diretamente ligada com a ventilação ou a inexistência desta. Para garantir a qualidade do ar interior tem sido criadas legislações quer a nível Europeu, quer a nível nacional para garantir requisitos mínimos que garantam a qualidade do ar interior. Pode-se ainda utilizar os requisitos estabelecidos pelo ASHRAE, uma associação americana de engenheiros e especialistas em sistemas de AVAC que tem estabelecido critérios de eficiência energética, qualidade de ar interior, de sistemas de construção, refrigeração e sustentabilidade através de estudos e publicações reconhecidos a nível mundial.

A legislação portuguesa sobre qualidade de ar interior define valores mínimos de caudal de ar novo e impõe condições de referência para os poluentes no ar interior para edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a profundas remodelações e existentes.⁶

De acordo com os requisitos de ventilação e qualidade do ar interior descritos no RECS, a ventilação em edifícios de comércio e serviços deve ser assegurada por meios de ventilação natural, mecânica ou a conjugação dos dois.

A ventilação natural é definida pelo escoamento natural do ar, com base na ação do vento e diferença de temperatura, e utiliza aberturas permanentes ou controláveis. A qualidade do ar é garantida quando o caudal mínimo é assegurado em pelo menos 90% das horas de ocupação do espaço interior. Mas este tipo de ventilação pode não ser eficaz por depender das condições do ambiente exterior, então a ventilação mecânica oferece uma solução alternativa ou complementar a ventilação natural. Como o nome indica a renovação do ar é feita com sistemas e equipamentos mecânicos que executam as trocas de ar, este é retirado dos espaços interiores e inflando ar do ambiente exterior ou uma mistura de ar interior com exterior, dependendo do sistema utilizado. Devido ao controlo das renovações do ar oferecido pela ventilação mecânica é importante garantir o caudal mínimo de ar previsto na legislação e a distribuição uniforme nas diferentes zonas de um espaço.⁶

Para garantir a segurança e o bem-estar das pessoas a legislação portuguesa prevê ações de fiscalização dos sistemas de ventilação, de forma a garantir que os diferentes tipos de poluentes existentes no ar não ultrapassem as condições de referência.

3.3 Eficiência energética em Edifícios

A principal fonte para obter energia elétrica ainda são os combustíveis fósseis, principais culpados da emissão de gases de estufa, em particular o CO₂, para a atmosfera, tendência que tem vindo a ser contrariada desde o Protocolo de Quioto, onde foi estabelecido cotas de emissão de CO₂ para cada país que assinou este protocolo, estes tiveram de criar medidas e políticas adequadas ao seu país, de forma a contribuir para a redução da emissão de poluentes. Então foi necessário investir na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis para não ultrapassar cotas definidas e se possível reduzir as emissões de CO₂.

Paralelo ao crescimento das energias renováveis, desenvolveu-se a necessidade de reduzir o consumo de energia sem comprometer o resultado final, melhorando o desempenho energético de equipamentos e sistemas assim como o desempenho dos edifícios, setor que consome cerca de 40% da energia elétrica. Assim surgiram regulamentos sobre o desempenho dos edifícios, quer a nível europeu, quer a nível nacional.

Portugal desde 1990 que tinha legislação sobre o conforto térmico nos edifícios, legislação que sofreu alterações ao longo dos anos por influência das diretivas europeias. Em 2013 a legislação foi reformulada, dando origem ao Decreto-Lei n.º118/2013, decreto que inclui num só diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A atual legislação mostra como proceder a avaliação do desempenho energético de um edifício e quais os requisitos a ter em conta para esta avaliação. Esta avaliação foca-se, para os edifícios de habitação, no comportamento térmico do edifício e na eficiência dos sistemas técnicos; para os edifícios de comércio e serviços é também avaliado a instalação, operação e manutenção dos sistemas térmicos. Existe ainda uma separação entre edifícios novos, os edifícios submetidos as grandes intervenções e os existentes. Os principais requisitos para esta avaliação, são o conforto térmico e a eficiência energética dos sistemas técnicos, como o sistema de climatização, o sistema das águas quentes sanitárias, a iluminação e o aproveitamento de energias renováveis, pratica incentivada por esta legislação.⁷

A avaliação do desempenho energético de um edifício calcula as necessidades térmicas para as estações de aquecimento e de arrefecimento, ao avaliar as perdas e os ganhos

energéticos a que o edifício está sujeito. Assim temos de ter em conta diferentes variáveis, como a localização e implementação do edifício, a sua geometria, a envolvente opaca e os envidraçados, os perfis de ocupação, a iluminação e os equipamentos. É necessário ter ainda em conta as condições do clima quer no interior, quer no exterior do edifício.⁷

Toda esta análise tem como objetivo certificar energeticamente os edifícios ou frações e verificar se cumprem os requisitos mínimos impostos pela legislação. No entanto, é importante referir para o desenvolvimento deste trabalho que edifícios de comércio e serviços existentes não estão sujeitos a requisitos de comportamento térmico, estes apenas se aplicam quando os edifícios de comércio e serviços existentes são sujeitos a grandes intervenções.⁷

A classificação energética é calculada comparando o desempenho energético do edifício a analisar nas condições atuais, com o desempenho do mesmo edifício, mas nas condições mínimas de referência a que estão obrigados os edifícios novos. No final será obtido uma classificação de A⁺ a F, em que a classificação A⁺ é o melhor resultado e F o pior. Os edifícios novos não podem obter classificação inferior a B⁻ e os edifícios sujeitos a grandes intervenções não podem obter classificação inferior a C. Os relatórios de certificação energética, principalmente para os edifícios existentes, indicam possíveis medidas de melhoria do desempenho energético do edifício.

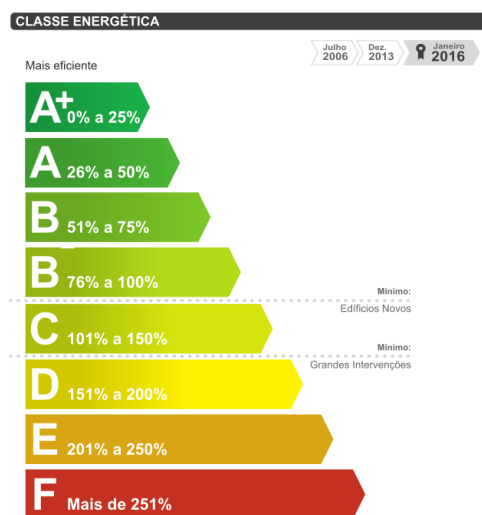


Figura 1 – Classes energéticas dos edifícios ⁸

Para os edifícios que tiverem um certificado energético podem aceder a incentivos a nível municipal ou nacional, são beneficiados os edifícios com classificação A⁺ e A, e a implementação das medidas de melhoria proposta pelo técnico que realizou a avaliação energética e respetivo certificado energético.

3.4 Simulação Dinâmica

A simulação dinâmica de edifícios é um método de análise computacional que simula as condições e o comportamento energético de um edifício. Este tipo de simulação é uma ferramenta importante na análise energética de um edifício que deve incluir as características da envolvente do edifício, o ficheiro climático de acordo com a zona, sistemas de climatização, ventilação iluminação etc. A utilização deste método de análise energética implica um levantamento de campo sobre a informação relativa a envolvente, iluminação, equipamentos, sistemas de climatização e tratamento de ar, ocupação, horários de funcionamento.

A simulação dinâmica do edifício tem duas etapas, a simulação real e a simulação nominal. Na simulação em condições reais cria-se um modelo representativo do edifício em estudo que tem como objetivo a calibração do modelo computacional através da comparação entre os consumos energéticos reais, obtidos a partir de faturas ou através de leituras do consumo no local, para que o modelo seja considerado calibrado a diferença entre os consumos reais e os obtidos na simulação real não deve ser superior ou inferior a 10%

Após a calibração do modelo computacional, passa-se à simulação em condições nominais, em que se mantém as características reais do edifício e se alteram as características que se pretende estudar, para assim se poder calcular com rigor a real redução de consumos se aplicadas medidas de poupança de energia. Estas medidas podem ser por exemplo:

- Redução dos consumos de iluminação num edifício,
- Colocação de palas ou sombreamentos exteriores para reduzir a energia solar absorvida no Verão,
- Implementação de painéis fotovoltaicos com consumo próprio,
- Substituição do sistema de climatização por um mais adequado.

A utilização dos programas de simulação dinâmica é útil pois facilita o processo da análise energética necessária para a emissão de certificados energéticos REH e RECS, para projetos AVAC e auditorias energética com objetivo de saber se se pode poupanças nos consumos e quais as medidas mais adequadas para atingir estas poupanças.

Para realizar uma simulação dinâmica é necessário escolher o programa a usar, mas existem diversos programas que fazem simulação dinâmica, então a ASHRAE tem vindo a avaliar a precisão de cada um, identificando diferenças nos resultados obtidos resultantes dos diferentes algoritmos envolvidos, limitações e erros de código, os resultados deste estudo podem ser encontrados na norma ASHRAE 140-2004 e nas suas atualizações.

O programa escolhido para a realização deste trabalho é o *Designbuilder*®, este é o primeiro interface exaustivo para o programa Energy Plus, Ambos os programas, o *Designbuilder*® e o Energy Plus, são recomendados pela ASHREA.

O *Designbuilder*® trás vantagens em relação a Energy Plus, pois permite construir o modelo do edifício, caracterizá-lo, bem como aos seus sistemas energéticos, e realizar simulações para determinação de consumos energéticos e de potências de climatização, assim como testar estratégias de otimização energética. As ferramentas disponíveis permitem uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios.

3.5 Tecnologia disponível

No mercado existem diversos sistemas e equipamentos que se podem ser usados para como medidas de poupança energética e melhoria da eficiência energética de um edifício.

Uma solução comum para atingir estes objetivos é a implementação ou substituição de sistemas e equipamentos para climatizar um espaço ou um edifício, que podem ter como objetivo o arrefecimento, o aquecimento, a ventilação, a humidificação e desumidificação, distribuição e utilização terminal.

Para aplicação AVAC estes sistemas podem se distinguidos em sistemas tudo-ar, sistemas tudo-água ou hidrónicos.

Nos sistemas tudo-ar, vulgarmente conhecido como ar condicionado centralizado, o aquecimento, o arrefecimento e controlo de humidade são realizados através do ar fornecido ao espaço que se pretende climatizar, neste sistema não existe separação entre a climatização e a ventilação.

Os sistemas tudo-ar podem ter associado uma unidade de tratamento de ar, vulgarmente designada UTA, este dispositivo usado para climatização e circulação de ar, tem a capacidade de realizar aquecimento, arrefecimento, ventilação, humificação e desumificação. Uma UTA consiste numa grande caixa metálica que contém um ventilador mecânico, elementos de aquecimento e arrefecimento, elementos de humificação e desumificação, filtros, atenuadores de ruído e grelhas de admissão e saída de ar. Existem modelos que realizam recirculação de ar, uma parte do ar insuflado nos espaços é ar exterior e outra parte é ar retirado dos espaços interiores desta forma é necessário menos energia para climatizar o ar insuflado. O sistema tudo-ar pode também se acoplado a um *chiller* ou uma bomba de calor.

Nos sistemas tubo-água a climatização é feita através de água, a água quente ou fria é distribuída por unidades terminais, como radiadores. Com este sistema apenas é possível fazer aquecimento ou arrefecimento, há uma separação evidente da ventilação.

Os sistemas tubo-água geralmente estão associados a caldeiras, *chillers*, bombas de calor.

- **Arrefecimento:**

- **Chiller de Compressão**

Os *chillers* são unidades de produção de água refrigerada de compressão alimentados por eletricidade, são sistemas arrefecem um fluido térmico (água ou ar), através de um ciclo frigorífico, por compressão de vapor, de um fluido frigorígeno. Este ciclo frigorífico de compressão mecânica pode ter diversas configurações, mas é referido em diversas literaturas como ciclo de Rankine inverso, neste ciclo o fluido é sujeito a uma baixa pressão, onde se processa a mudança de fase no evaporador, e, depois sujeito a uma alta pressão, onde se processa a mudança de fase no condensador.

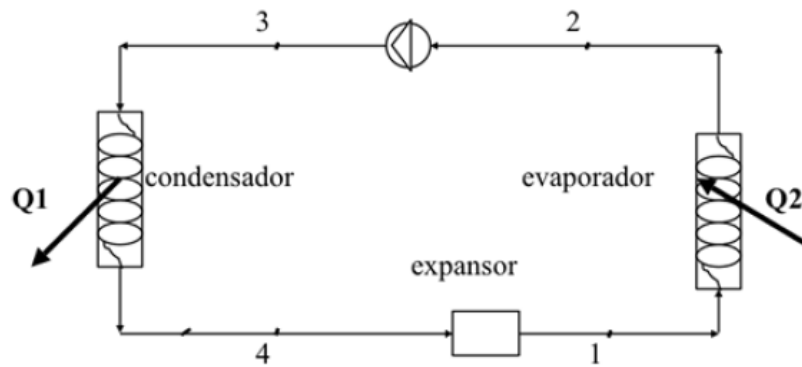


Figura 2 – Sistema Simples de Compressão de vapor

O princípio do funcionamento do *chiller* de compressão está baseado no efeito Joule-Thompson, o gás refrigerante é comprimido e posteriormente arrefecido, passa por uma expansão e a vaporização encerra o processo do gás, que volta ao compressor para reiniciar o ciclo.

→ Chiller de Absorção

Os *Chillers* - *chillers* de absorção são sistemas que servem para fazer o arrefecimento, estes arrefecem o fluido térmico (ar ou água) através de um ciclo frigorífico utilizando um fluido refrigerante, mas em contraste com os *chillers* de compressão, por absorção de vapor, ou seja, através de uma compressão termoquímica utilizando misturas com calor de mistura elevado. Os fluxos de calor de e para os quatro trocadores de calor componentes do ciclo de absorção ocorrem da seguinte forma: o calor de uma fonte de alta temperatura entra no gerador, enquanto que o calor a baixa temperatura da substância que se pretende refrigerar entra no evaporador. A rejeição de calor ocorre no absorvedor e condensador a temperaturas tais que o calor possa ser rejeitado para a atmosfera.

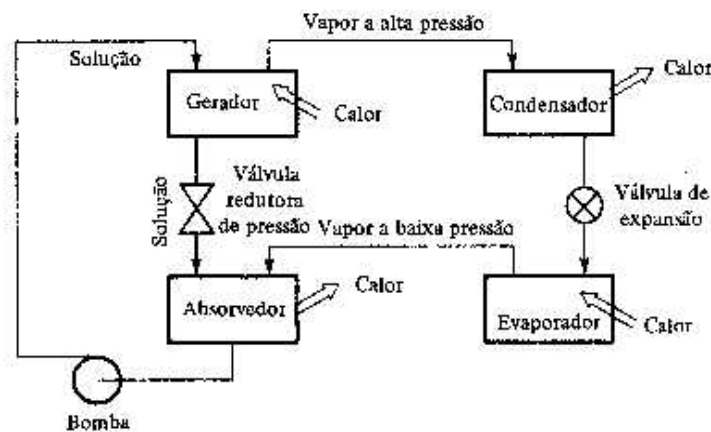


Figura 3 – Sistema simples de absorção de vapor

Os *chillers* de absorção são muitas vezes associados a sistemas de cogeração, de forma a permitir o aproveitamento do calor que de outra forma seria desperdiçado.

Não há componentes móveis num *chiller* de absorção (processo termoquímico), resultando numa vida útil mais longa e menor manutenção; O facto de não conter bomba interna permite também reduzir os consumos elétricos.

- **Aquecimento:**

O para os sistemas que utilizam água o aquecimento deste fluido é feito recorrendo a caldeiras, bombas de calor ou sistemas de efeito Joule.

→ Caldeira

A caldeira de aquecimento serve para elevar a temperatura de um fluido, transferindo o calor resultante da queima de um combustível, para o fluido térmico, usualmente a água, que é transportado posteriormente até aos locais onde se pretende efetuar o aquecimento. Neste ponto a climatização é feita a partir de unidades terminais, conhecidas como radiadores, neste ponto a transferência de calor é feita para o ambiente a climatizar por radiação e convecção.

A caldeira de aquecimento pode ter como combustível gasóleo, gás natural e biomassa.

As caldeiras a biomassa têm como principal vantagem usar como combustível uma fonte de energia renovável segura, ecológica e disponível.

→ Bombas de Calor

O calor proveniente do ambiente, que é a energia solar indireta, armazenado na água, ar e solo é aproveitado pela bomba de calor. Esta vai retirar calor precisamente dessas fontes de calor para posteriormente utilizar na climatização dos espaços ou no aquecimento de Águas Quentes Sanitárias.

Uma Bomba de Calor pode ter um sistema que funcione com ar-água, só água ou só água. Isto vai depender do tipo de bomba de calor, que pode ser normal ou geotérmica, e da forma como a climatização se processa se através de insuflação de ar se através de equipamentos de convecção, ou se pretende realizar o aquecimento de AQS.

A Bomba de calor dita normal faz as trocas de calor com o ar exterior, no caso da bomba de calor geotérmica é utilizado o calor armazenado no solo ou na água, este tipo de bomba pode ser instalada de 4 formas diferentes (figura 3). A principal vantagem das bombas geotérmica reside no facto da temperatura do solo ser constante, ao contrário do ar. Este sistema pode ser reversível, utilizando a fonte de calor pode servir para aquecer ou arrefecer o fluido térmico e consequentemente o espaço em questão, dependendo das necessidades. A bomba de calor é um equipamento com uma boa eficiência energética mas necessita de eletricidade para funcionar, então para diminuir os gastos de eletricidade esta pode ser alimentada por um painel fotovoltaico.

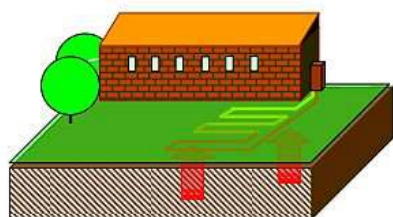


Figura 1 - Captação horizontal em circuito fechado da energia térmica acumulada no solo

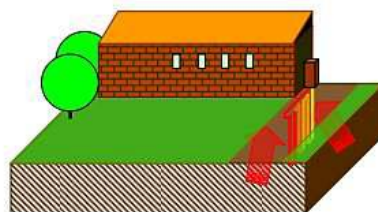


Figura 2 - Captação vertical em circuito fechado da energia térmica acumulada no solo

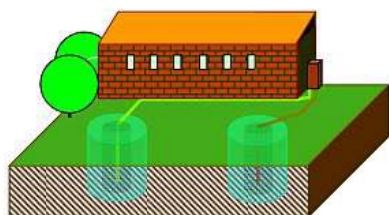


Figura 3 - Captação vertical em circuito aberto da energia térmica acumulada nas águas subterrâneas

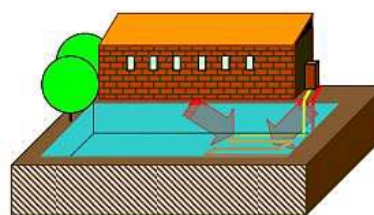


Figura 4 - Captação horizontal em circuito fechado da energia térmica acumulada no fundo de um lago, curso de água, bacia de retenção, tanque aberto, etc..

Figura 4 – Tipos de bombas de calor geotérmicas

→ Efeito Joule

Para sistemas de aquecimento por água ou aquecimento de AQS pode ser instalado um equipamento que funcione por efeito de Joule. Quando um condutor é aquecido ao ser percorrido por uma corrente elétrica, ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica. Este fenômeno foi descoberto pelo físico britânico James Prescott Joule, então em sua homenagem ficou conhecido como Efeito Joule.

Esse fenômeno ocorre devido a colisão dos elétrons da corrente elétrica com as partículas do material condutor. Os elétrons ao colidirem com os átomos do condutor, transferem parte da sua energia cinética para os átomos do material condutor aumentando a sua agitação e consequentemente a sua temperatura. Assim, a energia elétrica é transformada em energia térmica (calor). Pode-se observar este fenômeno nas lâmpadas de filamentos e é usado em secadores de cabelo, ferros elétricos, torradeiras, etc, assim como para aquecer água.

A desvantagem dos equipamentos que funcionam com base no efeito de Joule é o consumo elevado de eletricidade.

4. Caso de Estudo: Sondar.i

4.1 Metodologia

Para atingir os objetivos deste projeto, o trabalho foi dividido em cinco etapas. Na primeira etapa foi efetuado todo o levantamento dimensional da envolvente do edifício, o levantamento da informação sobre os gastos energéticos e dos sistemas técnicos utilizados. Para tal foi consultada a memória descritiva do projeto do edifício, foram consultadas as faturas de eletricidade de um ano inteiro e foi feita uma visita a este edifício.

Com a informação recolhida e recorrendo ao Excel, foram calculados os consumos associados a iluminação e aos equipamentos instalados, só então é determinado o consumo associado a climatização durante o inverno, feita pelos aquecedores a óleo e halogéneo. Desta forma é possível validar os dados recolhidos sobre as potências instaladas e os perfis de utilização.

A terceira etapa consiste na simulação térmica do edifício com o software *Desingbuilder*®, onde o edifício em estudo é criado de acordo com a informação recolhida na primeira fase, a geometria, a implementação e a envolvente do edifício. A informação sobre os equipamentos, a iluminação, os horários de utilização e as taxas de ocupação é também introduzida no modelo, o objetivo é replicar neste programa as condições reais em que o edifício opera.

Depois do modelo calibrado inicia-se a quarta etapa, a simulação das diferentes soluções de climatização presentes no mercado, sempre respeitando as normas aplicáveis sobre as condições do conforto dos ocupantes e eficiência energética.

A última etapa consiste na avaliação das soluções simuladas, para determinar a sua viabilidade, tendo em conta as poupanças energéticas anuais e uma aproximação a uma análise económica sobre a implementação de cada medida.

4.2 Características do Edifício

Este trabalho analisa uma fração de um edifício localizado na freguesia da Gafanha da Nazaré, conselho de Ílhavo, no distrito de Aveiro. Este edifício, o Centro Empresarial da Gafanha da Nazaré, é composto por diversos blocos cada qual com frações destinadas a espaço de escritórios e frações destinadas a espaço de armazém. A empresa Sondar.i localiza-se no bloco B e possui as três frações de escritório no 2º andar, frações W, X e Y, e uma fração de armazém localizada entre o 1º e 2º piso, fração V. Como referido anteriormente o objetivo deste trabalho é fazer a análise energética de todos estes espaços, estudar medidas de poupança energética e sistema de climatização destina aos escritórios, isto é todo o 2º andar e um outro espaço localizado no armazém. As frações W e Y são divididas em espaços mais pequenos por paredes constituídas por madeira e vidro, a atual divisão do espaço esta representada na figura 6. Este tipo de divisória também é usada no armazém par criar um espaço de escritórios encostado a parede sul, e criar um outro espaço destinado a laboratório, na parte poente do armazém como se pode ver na figura 7.

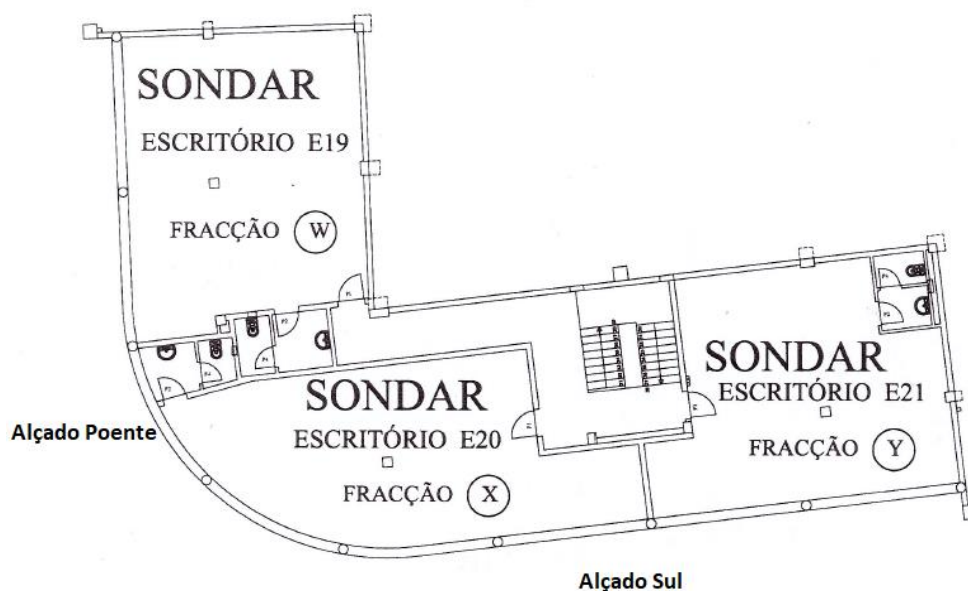


Figura 5 – Planta do 2º Andar (Escritórios da Sondar)

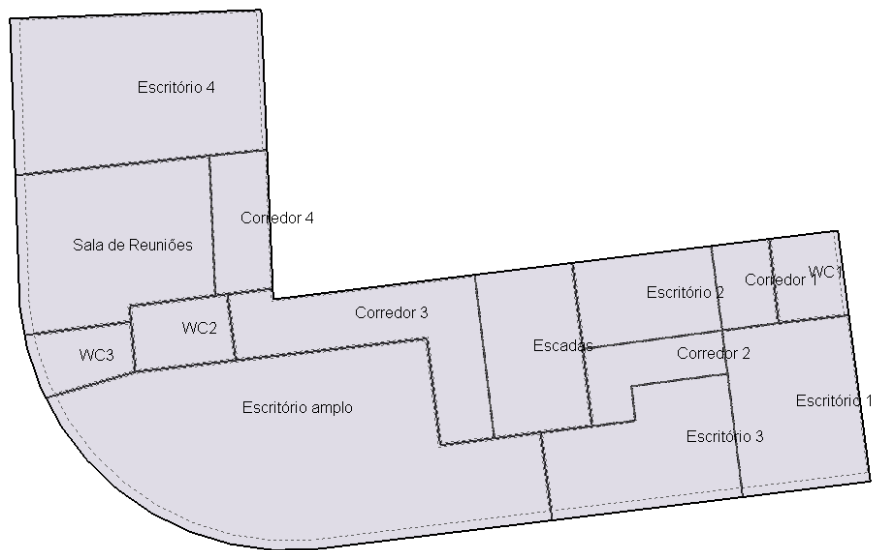


Figura 6 – Divisão atual do 2º andar

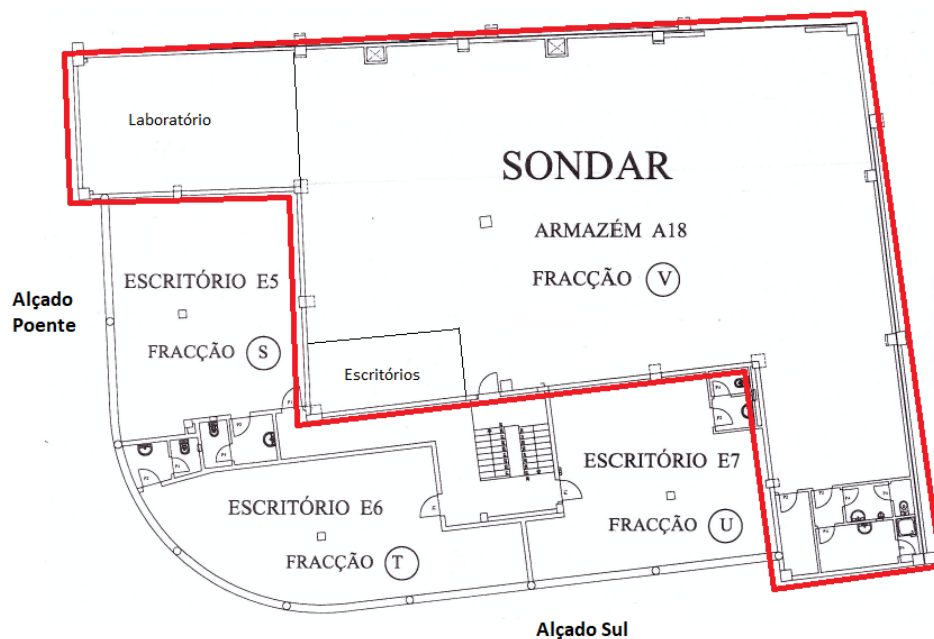


Figura 7 - Planta 1º Andar (Armazém Sondar)

Este espaço de escritório está ligado ao restante edifício por uma caixa de escadas, a norte e a nascente está em contacto com outros blocos do complexo em que está inserido, por baixo está em contacto com outros escritórios, espaço climatizado, o teto esta em

contacto com espaço não climatizado do armazém. O piso do armazém está em contato com outros espaços de armazém, enquanto que o telhado está em contacto direto com o exterior.

A fachada principal orientada a sul e a poente, sendo constituída principalmente por vãos envidraçados, sem qualquer tipo de sombreamento. A climatização deste espaço é feita, na estação de aquecimento, com aquecedores a óleo e a halogéneo, na estação de arrefecimento a climatização é inexistente, apesar das elevadas temperaturas verificadas neste espaço durante este período.

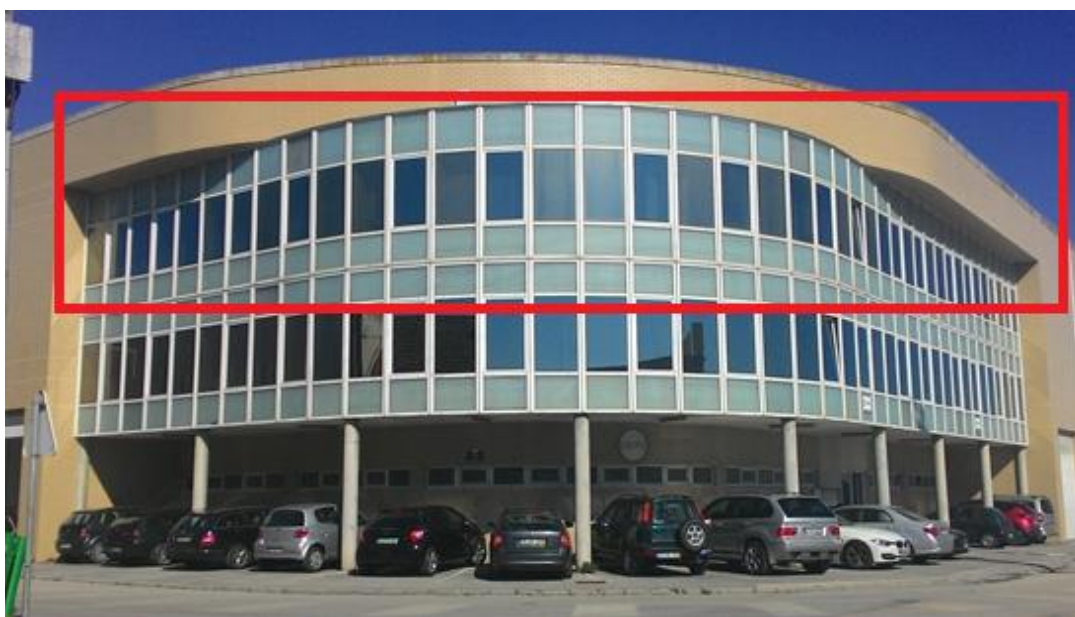


Figura 8 – Fachada do Edifício

4.3 Modelo energético do edifício

Para realizar a simulação dinâmica de um edifício através de um programa informático é necessário ter informação sobre a localização do edifício, a sua geometria, a construção, os equipamentos e a iluminação instalados, os perfis de ocupação, os horários de utilização e o consumo total de eletricidade real em cada mês. A maior parte destas informações é obtida através de uma visita ao edifício, a restante obtém-se através da consulta de desenhos de arquitetura, memória descritiva e faturas de eletricidade.

No entanto as faturas de eletricidade que foi possível consultar, só para o ano de 2015 é que existem faturas para todos os meses e os consumos faturados são na maior parte do ano consumos estimados, apenas existem dados sobre o consumo real correspondente a períodos vários de meses. Isto acontece, pois a contagem da eletricidade consumida apenas é consultada ocasionalmente, dando origem a discrepâncias entre a eletricidade realmente consumida e a faturada. Assim sendo podemos observar na figura 9 o consumo de eletricidade no ano de 2015 entre janeiro a junho, entre junho a novembro e entre novembro a janeiro de 2016. No total no ano da 2015 foram consumidos 31 525 kWh/ano.

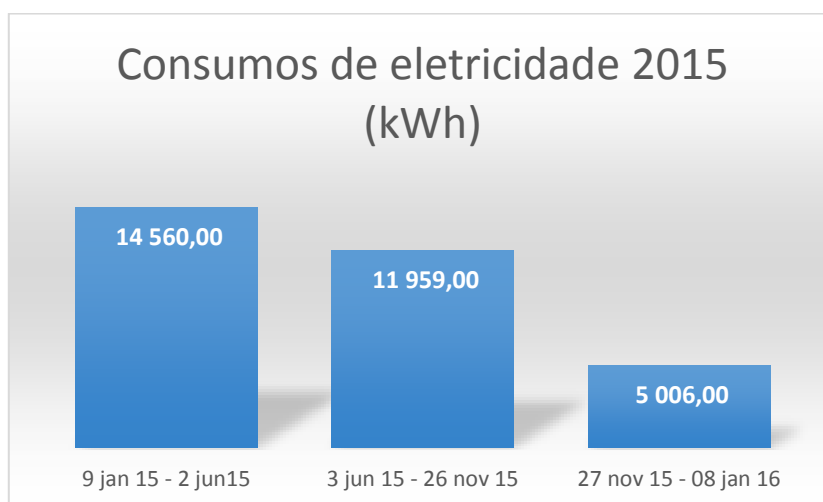


Figura 9 – Gráfico com o consumo real de eletricidade no ano de 2015

Para realizar a simulação dinâmica no Desingbuilder® do edifício é essencial conhecer os consumos mensais para poder calibrar o sistema, isto é aproximar os consumos no modelo simulado dos consumos reais. Como as faturas elétricas não fornecem esta informação e não

foi possível fazer um levantamento no local desta informação no período de um ano, optou-se por criar um modelo de consumos efetivos.

Para criar o modelo de consumos efetivos do sistema atual, recorreu-se a ferramenta de Excel para calcular os consumos associados a cada tipo de equipamento. Para determinar esta desagregação de consumos, usou-se a informação recolhida na visita ao edifício sobre os equipamentos instalados, respetivas potências e tempos de funcionamento.

A iluminação neste edifício é feita com lâmpadas de fluorescentes tubulares de 18W e estas estão acesas das 8h às 20h, o que corresponde a um tempo de funcionamento de 12h por dia, como para o ano de 2015 existiram 252 dias úteis num ano a iluminação interior do edifício esteve em funcionamento 3 024 horas. A partir daqui é possível calcular a eletricidade consumida pela iluminação em cada espaço como descrito na tabela 1.

Tabela 1 – Eletricidade consumida pela iluminação

	Nº lâmpadas	W	t _{operação}	kWh/ano
Armazém	22	396	3 024	1 198
Balneários	8	144		435
Escritórios Armazém	8	144		435
Laboratório	16	288		871
Corredor 1	2	36		109
Corredor 2	2	36		109
Corredor 3	8	144		435
Corredor 4	2	144		109
Escritório 1	4	72		218
Escritório 2	6	108		327
Escritório 3	8	144		435
Escritório 4	12	216		653
Escritório Amplo	24	432		1 306
Sala de Reuniões	8	144		435
WC1	4	72		218
WC2	4	72		218
WC3	4	72		218
TOTAL				7 729

O mesmo processo foi realizado para determinar o consumo elétrico dos equipamentos, neste caso dos computadores e impressoras. Considerando que estes equipamentos funcionam 8 horas por dia durante 252 dias úteis, então no total o seu tempo de operação é de 2 016 horas por ano. Assim o consumo dos equipamentos instalados em cada

espaço é detalhado na tabela 2. Na classe dos equipamentos só falta considerar uma arca frigorífica que consome 300 kW/ano.

Tabela 2 - Eletricidade consumida por equipamentos

	Computadores	W	Impressoras	W	t _{operação}	kWh/ano
Armazém	1	150	0	0	2 016	302
Balneários	0	0	0	0		0
Escritórios Armazém	3	450	1	60		1 028
Laboratório	2	300	0	0		605
Corredor 1	0	0	0	0		0
Corredor 2	0	0	0	0		0
Corredor 3	0	0	1	60		121
Corredor 4	0	0	0	0		0
Escritório 1	1	150	0	0		302
Escritório 2	2	300	0	0		605
Escritório 3	1	150	0	0		302
Escritório 4	6	900	0	0		1 814
Escritório Amplo	7	1 050	1	60		2 238
Sala de Reuniões	0	0	0	0		0
WC1	0	0	0	0		0
WC2	0	0	0	0		0
WC3	0	0	0	0	0	
TOTAL						7 318

Assim o consumo de eletricidade para a iluminação é de 7 729 kWh/ano e dos equipamentos é de 7 618 kWh/ano, o que equivale a um total de 15 347 kWh.

O restante consumo energético, 16 178 kWh dos 31 525 kWh consumidos no ano de 2015, assume-se que é utilizado para o aquecimento feito com aquecedores a óleo e halogéneo de 1 500 W, no entanto não foi possível determinar um horário de funcionamento destes equipamentos apenas se pode assumir que estes são usados durante o período de ocupação destes espaços. Para confirmar que os aquecedores consomem esta quantidade de energia, pode-se fazer um simples calculo, para determinar se o tempo de funcionamento que se assume é correto. Para este cálculo é preciso dividir o consumo anual dos aquecedores pelos 6 meses de inverno¹ e então por 20 dias úteis de cada mês. Por fim, após calcular o

¹ A duração da estação de inverno para a localização do edifício em estudo é estudada no capítulo seguinte.

consumo dos aquecedores num dia de inverno, falta dividir este valor pela potência de todos os 11 aquecedores, desta forma determinamos que os aquecedores funcionam aproximadamente 8 h/dia, que é o mesmo que dizer que está ligado o dia todo.

Após determinados os consumos por tipo de utilização, iluminação, equipamentos e aquecedores, pode-se concluir que a informação recolhida durante a visita ao edifício sobre os equipamentos, a sua potência e o tempo de operação de cada equipamento, são dados que correspondem a sua real utilização.

Com a desagregação de consumos calculada e os perfis de utilização verificados, pode-se avaliar que os aquecedores utilizados para climatizar os vários espaços são os equipamentos que consomem mais energia. Na figura 10 observa-se que os aquecedores representam um consumo de mais de metade da energia consumida num ano, portanto a substituição dos aquecedores elétricos por um sistema de climatização adequado representa uma medida de para melhorar a eficiência energética do edifício não só pelo elevado consumo energético, mas também melhorar as condições de conforto. A iluminação pode ser outra medida de eficiência energética, pois a iluminação representa 25% da energia total consumida.

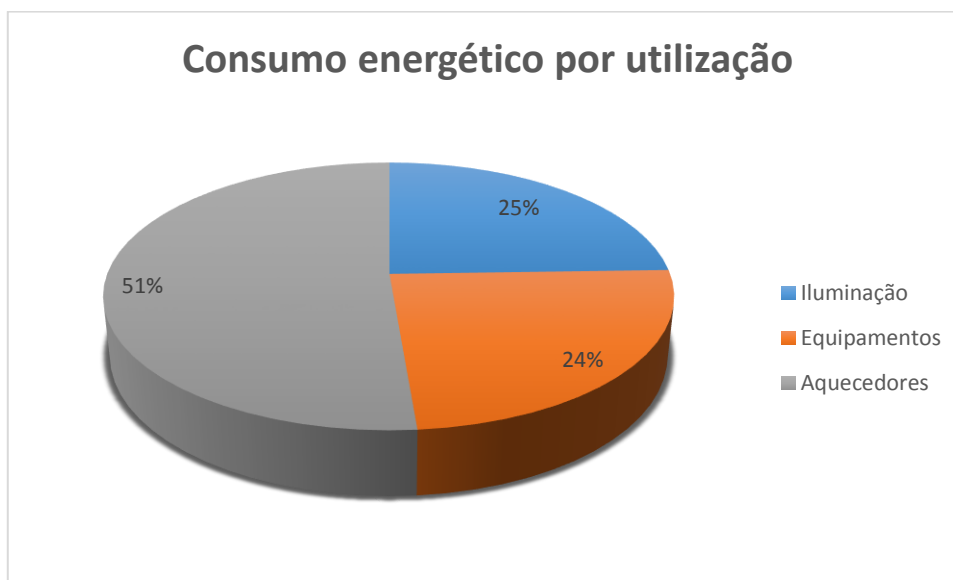


Figura 10 – Representação gráfica da repartição de consumos energéticos por utilização, durante 1 ano

5. *Designbuilder*®

A etapa seguinte na realização deste trabalho é a criação de um modelo do edifício no software *Desingbuilder*®, primeiro é necessário criar uma representação do edifício em estudo no programa utilizado, para depois se poder introduzir os dados referentes ao clima a que o edifício está sujeito, a iluminação, aos equipamentos usados, criar as soluções construtivas, assim como perfis de ocupação, isto é criar um horário representativo de como o edifício é usado e criar perfis de utilização para os equipamentos. Será com este modelo que os diferentes sistemas de climatização vão ser testados, assim pode-se observar os consumos energéticos dos sistemas de acordo com as condições de conforto pretendidas.

5.1 Clima

A legislação em vigor contém um despacho que mostra como determinar os parâmetros para o zoneamento climático para cada localização. Existem três tipos de zonas climáticas de inverno e três de verão, correspondentes a estação de aquecimento e de arrefecimento.

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) desenvolveu um programa para o SCE, com os dados climáticos de Portugal, para facilitar o cálculo das zonas climáticas. Este programa tem ainda a capacidade de gerar um ficheiro compatível com o programa *Desingbuilder*®. Ao seleccionar o município de Ílhavo e determinar que o edifício está implementado a uma altitude de 5m, obtemos que estamos numa zona climática V2 para verão e I1 para o inverno, o edifício está sujeito a verões moderados e a invernos suaves.

Seleção por município

Ílhavo

preparar ficheiro

EPW (formato EnergyPlus Weather)

Zona climática

NUTS 3: Baixo Vouga

Latitude: 40,6 °N (nominal)

Longitude: 8,6 °W (nominal)

Altitude: 50 m (referência)

Local específico

Município: Ílhavo

Altitude: 5 m

Dados climáticos

Referência: Neste local

Estação de aquecimento

Período: 6,3

6,2 meses

T média: 9,5

9,7 °C

Graus-dia: 1337

1288 °C

Estação de arrefecimento

T média: 20,6

20,7 °C

Zonas de verão e inverno

V 2

I 1

Figura 11 – Dados climáticos para Ílhavo, altitude de 5m

5.1.1 Exposição Solar

O estudo da exposição solar de um edifício é muito importante, principalmente em edifícios novos pois se o edifício tiver boa exposição solar este aquece e absorve calor do sol, o que diminui as necessidades de aquecimento, tornando o edifício mais eficiente a nível energético. Para os edifícios existentes este estudo não pode ser descuidado, pois a exposição solar ou a falta dela pode influenciar muito a eficiência energética do edifício.

Através do programa de simulação podemos observar a exposição solar e as sombras a que este está sujeito, para fazer esta observação é necessário criar blocos representativos dos edifícios que rodeiam o nosso edifício em estudo. Nas figuras seguintes podemos ver a luz e as sombras que incidem nos escritórios da Sondar.i para as 9h e as 16h num dia típico de inverno e para um típico dia de verão.

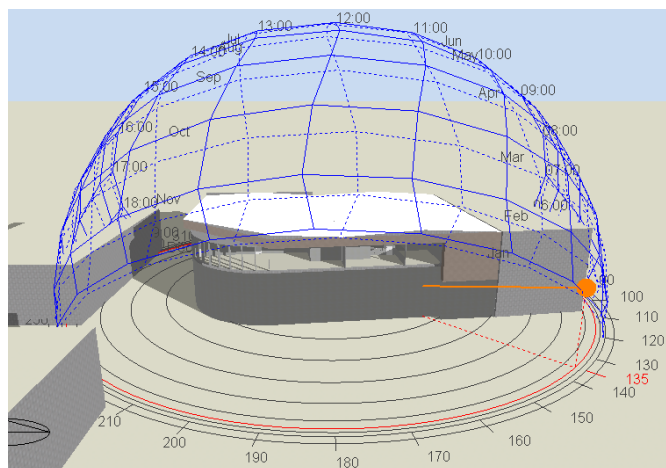


Figura 12 - Incidência Solar do dia 15 de Janeiro as 9h

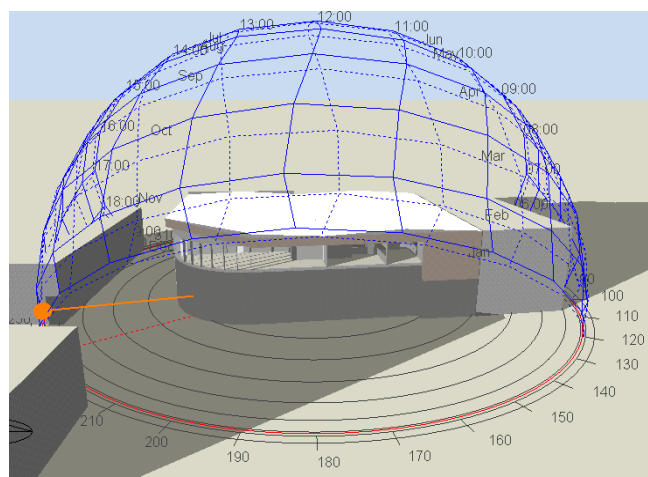


Figura 13 - Incidência Solar do dia 15 de Janeiro as 16h

Analisando a exposição solar num dia típico de inverno, como se pode verificar através da Figura 12 e 13, verifica-se que o edifício tem boa exposição solar na parte da manhã, esta incide em toda a fachada sul, o que vai proporcionar bons ganhos solares. Durante a tarde o edifício não recebe exposição solar significativa, pois a posição do sol é baixa, os edifícios adjacentes não projetam sombras sobre o espaço em estudo isto é o 2º andar.

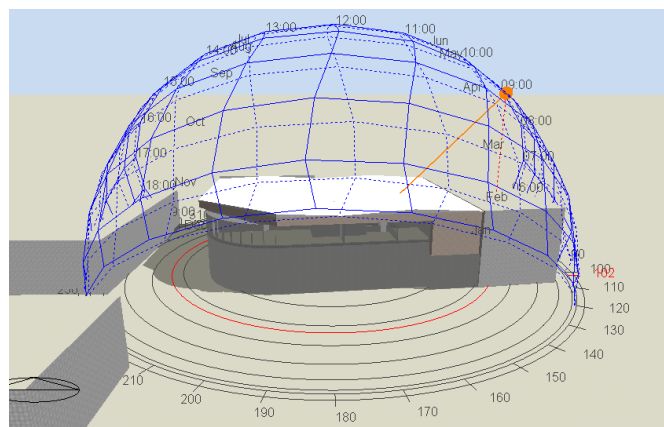


Figura 14 - Incidência Solar do dia 15 de Julho as 9h

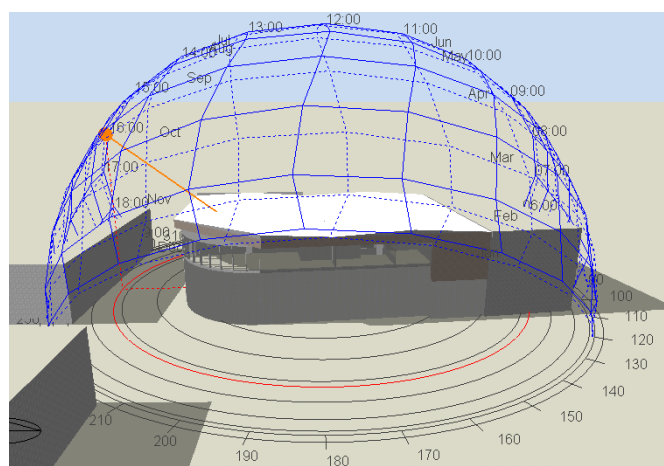


Figura 15 – Incidência Solar do dia 15 de Julho as 16h

A exposição solar num dia típico de verão, como se pode verificar através da Figura 14 e Figura 15. No período da manhã o sol incide principalmente na fachada a sul e enquanto que no período da tarde incide principalmente na fachada poente. Isto deve-se à posição mais elevada do sol. Para além disso, denota-se que os edifícios adjacentes não produzem sombra sobre as principais fachadas do edifício em estudo. Como as fachadas sul e poente são envidraçadas os ganhos solares durante o período de verão serão bastantes elevados, levando as temperaturas elevadas no interior do edifício e baixos níveis de conforto.

5.2 Taxas de ocupação

Um fator bastante importante na simulação dinâmica de edifícios é a determinação dos períodos de utilização dos espaços assim como a taxa de ocupação, é necessário diferenciar os momentos em que os funcionários da Sondar.i se encontram todos a trabalhar e as horas de almoço em que só alguns utilizam o espaço. O mesmo se aplica no início e no fim do dia de expediente, pois os funcionários não iniciam e terminam o seu expediente à mesma hora. Assim sendo o horário e taxa de ocupação dos espaços de escritório é o indicado na figura 16.

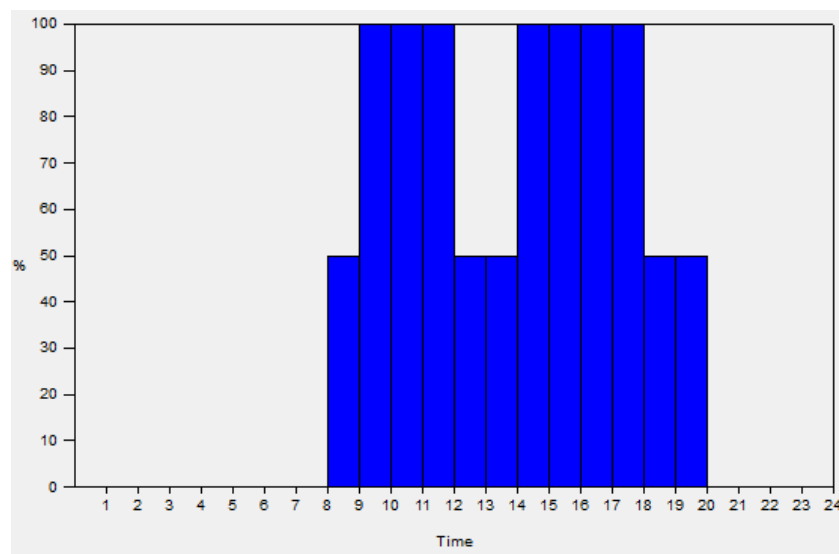


Figura 16 – Horário e taxa de ocupação

A taxa ou densidade de ocupação de cada um dos espaços é apresentada na seguinte tabela 3.

Tabela 3 – Densidade de ocupação

	<i>Nº pessoas</i>	<i>m²</i>	<i>m²/ocupantes</i>
<i>Armazém</i>	7	386,7	0,02
<i>Balneários</i>	1	23,29	0,04
<i>Escritórios Armazém</i>	3	27,4	0,11
<i>Laboratório</i>	2	59,7	0,03
<i>Corredor 1</i>	1	5,84	0,17
<i>Corredor 2</i>	1	9,08	0,11
<i>Corredor 3</i>	1	24,4	0,04
<i>Corredor 4</i>	1	9,62	0,10
<i>Escritório 1</i>	1	25,68	0,04
<i>Escritório 2</i>	2	14,36	0,14
<i>Escritório 3</i>	1	24,41	0,04
<i>Escritório 4</i>	6	44,63	0,13
<i>Escritório Amplo</i>	7	85,3	0,08
<i>Sala de Reuniões</i>	1	35,13	0,03
<i>WC1</i>	1	7,07	0,14
<i>WC2</i>	1	7,88	0,13
<i>WC3</i>	1	6,98	0,14

5.3 Soluções construtivas

No separador *Construction* são definidas as soluções construtivas que compõem a envolvente. É possível fazer uma definição ao nível geral do edifício, que constitui uma regra e modificar ao nível da zona térmica e parede a parede as soluções que são exceções a regra. Neste separador existem diversos tipos de soluções construtivas, mas só algumas são relevantes para este projeto, estas são aqui descritas.

A envolvente exterior a zona dos escritórios como é possível observar na figura 17, é constituída por cinco camadas. A camada exterior é azulejo cerâmico com 0,01m seguido de uma camada de blocos de betão com 0,15m, uma camada de ar com 0,01m e uma camada de blocos de betão com 0,15m. Por fim, a camada interior é reboco de 0,01m de espessura. Esta solução construtiva tem coeficiente de transferência de calor de $1,22\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

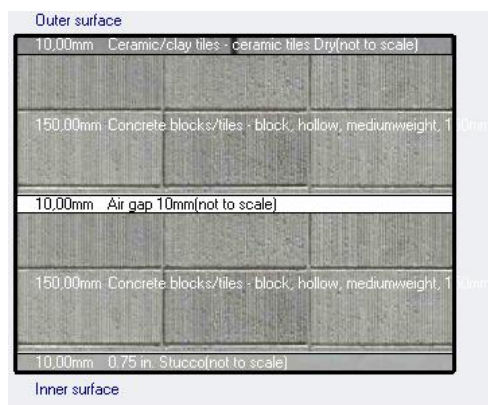


Figura 17 – Envolvente exterior (Escritórios)

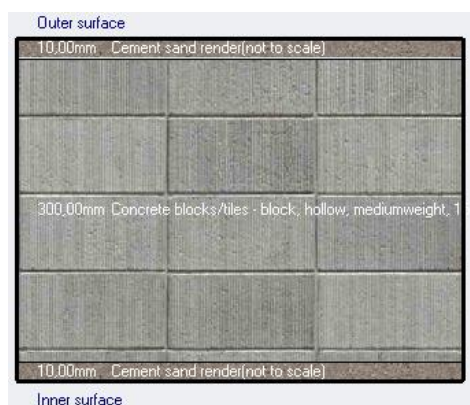


Figura 18 – Envolvente exterior (Armazém)

A envolvente exterior a zona do armazém (figura 18), é constituída por três camadas. A camada exterior é de reboco areado com 0,01m seguido de uma camada de blocos de betão com 0,15m e um reboco areado com 0,01m. Esta solução construtiva tem coeficiente de transferência de calor de 1,48 W/(m².K).

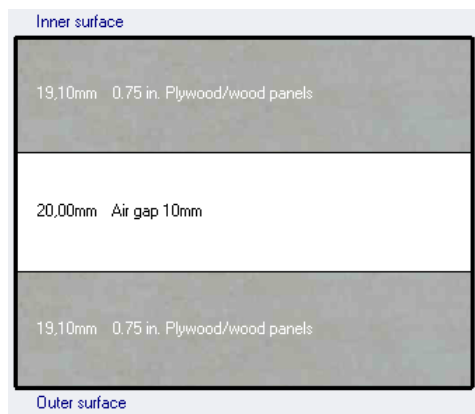


Figura 19 – Divisórias dos escritórios

As paredes interiores, divisoras dos diferentes escritórios (figura 19) são compostas por três camadas, madeira compensada de 0,02m; espaço de ar de 0,02m; e madeira compensada de 0,02m. Esta solução construtiva tem coeficiente de transferência de calor de 1,67 W/(m².K).

O pavimento no armazém é constituído por duas camadas, a mais externa é uma camada de betão reforçado com uma espessura de 0,1 m e a segunda camada é de cimento polido com espessura de 0,01 m. Esta solução construtiva tem coeficiente de transferência de calor de 3,15 W/(m².K).



Figura 20 – Pavimento do Armazém

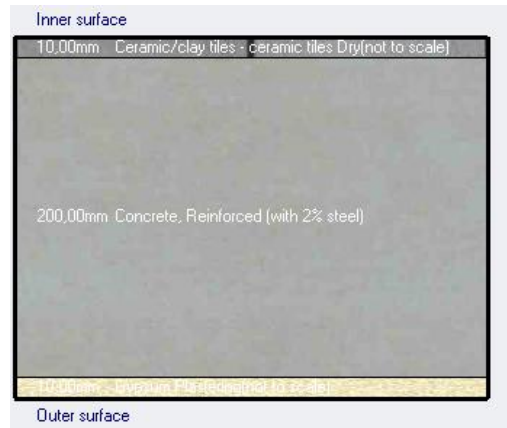


Figura 21 – Pavimento dos escritórios

Relativamente ao pavimento entre os andares dos escritórios, este é composto por três camadas, uma de gesso cartonado de 0,01m, uma de betão reforçado (2% aço) de 0,2 m, uma de azulejos cerâmicos de 0,01 m. Esta solução construtiva tem coeficiente de transferência de calor de $2,61 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

As janelas deste edifício são de caixilharia em PVC e com vidro duplo incolor. Cada vidro tem a espessura de 0,003 m, como a caixa-de-ar entre os vidros de 0,013m.

5.4 Iluminação

A iluminação artificial em todo o edifício é feita com lâmpadas tubulares fluorescentes do tipo “TL-D Super 80 18W/865”, nas zonas de escritório estas lâmpadas são usadas em luminárias que usam quatro destas lâmpadas e no armazém em luminárias com duas lâmpadas.

Na tabela seguinte são apresentadas as potências instaladas para cada espaço e as respetivas densidades de iluminação.

Tabela 4 – Densidade de iluminação

	Nº lâmpadas	m ²	W	W/m ²
Armazém	22	386,70	396	1,02
Balneários	8	23,29	144	6,18
Escritórios Armazém	8	27,40	144	5,26
Laboratório	16	59,70	288	4,82
Corredor 1	2	5,84	36	6,16
Corredor 2	2	9,08	36	3,96
Corredor 3	8	24,40	144	5,90
Corredor 4	2	9,62	36	3,74
Escritório 1	4	25,68	72	2,80
Escritório 2	6	14,36	108	7,52
Escritório 3	8	24,41	144	5,90
Escritório 4	12	44,63	216	4,84
Escritório Amplo	24	85,30	432	5,06
Sala de Reuniões	8	35,13	144	4,10
WC1	4	7,07	72	10,18
WC2	4	7,88	72	9,14
WC3	4	6,98	72	10,32

5.5 Equipamentos

Os equipamentos usados são essencialmente material de escritório, como computadores, impressoras, telefones, faxes. Na tabela 5 estão contabilizados os equipamentos que existem em cada espaço assim como o contributo energético. Para determinar os contributos energéticos foi considerada as seguintes potências para cada equipamento:

- Computadores: 150W
- Impressoras: 60W

Na tabela seguinte são descritos os tipos de equipamentos existentes em cada espaço e as respetivas densidades dos equipamentos.

Tabela 5 – Equipamentos e potência por m²

	<i>m²</i>	<i>Computadores</i>	<i>Impressoras</i>	<i>W/m²</i>
<i>Armazém</i>	386,70	1	0	0,39
<i>Escritórios Armazém</i>	27,40	3	1	18,61
<i>Laboratório</i>	59,70	2	0	5,03
<i>Corredor 1</i>	5,84	0	0	0,00
<i>Corredor 2</i>	9,08	0	0	0,00
<i>Corredor 3</i>	24,40	0	1	2,46
<i>Corredor 4</i>	9,62	0	0	0,00
<i>Escritório 1</i>	25,68	1	0	5,84
<i>Escritório 2</i>	14,36	2	0	20,89
<i>Escritório 3</i>	24,41	1	0	6,15
<i>Escritório 4</i>	44,63	6	0	20,17
<i>Escritório Amplo</i>	85,30	7	1	13,01
<i>Sala de Reuniões</i>	35,13	0	0	0,00

5.6 Comportamento do edifício

Após criar o modelo do edifício no *Desingbuilder*® e introduzir no programa todos os dados relevantes, executa-se uma simulação do edifício com o objetivo de perceber as variações de temperatura que ocorrem ao longo do ano. É necessário referir que este modelo do edifício não inclui os aquecedores atualmente utilizados para climatizar os espaços, pois assim podemos observar as diferentes temperaturas sentidas no edifício sem qualquer tipo de climatização. A figura 22 é um dos gráficos gerados pelo programa, neste caso sobre as temperaturas médias diárias sentidas num dos escritórios ao longo de um ano. As temperaturas deste gráfico dizem respeito ao maior escritório, anteriormente referido como “Escritório amplo”, por este ser o escritório com maior exposição solar logo com maiores ganhos térmicos solares, desta forma pode-se observar que existem dias em que a temperatura verificada neste espaço é beneficiada pelos ganhos solares, principalmente quando comparada com as temperaturas verificadas num escritório sem exposição solar direta como o “Escritório 2”, representadas na figura 23.

Nos gráficos gerados pelo *Desingbuilder*® o ano referido é o de 2002, este dado é importante apenas para definir o calendário, isto é, indicar em que dia da semana o ano começa, para outras situações esta informação deve ser ignorada.

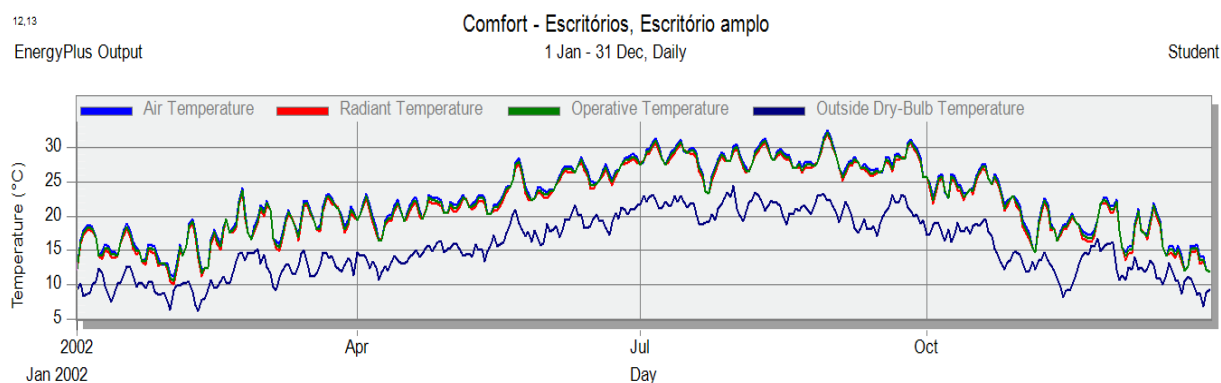


Figura 22 – Variação da temperatura diária no Escritório Amplo

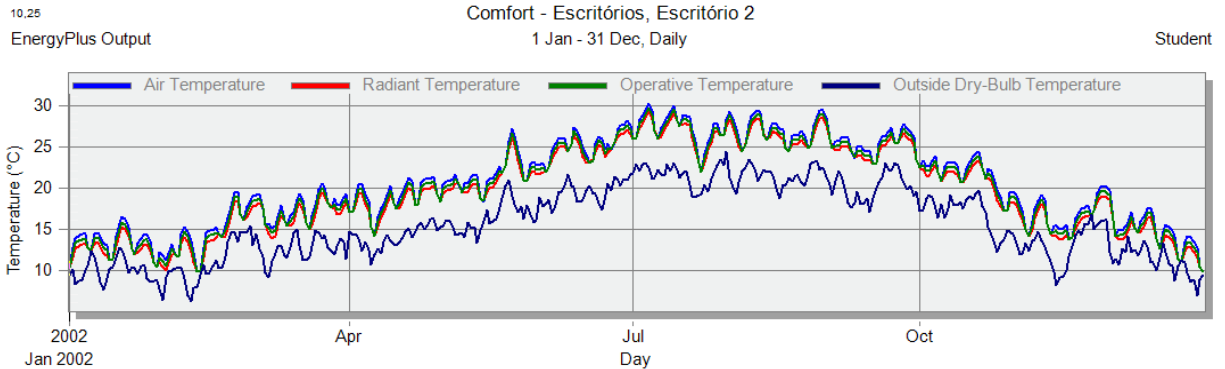


Figura 23 - Variação da temperatura diária no Escritório 2

De acordo com as temperaturas de conforto, a temperatura na estação de inverno deve ser de 20°C e na estação de verão de 25°C, pela avaliação das figuras anteriores estas condições de conforto não acontecem, no inverno verificam-se temperaturas abaixo das pretendidas para obter conforto e no verão as temperaturas são superiores as pretendidas.

O objetivo da próxima etapa deste projeto é criar estas condições de conforto, através de sistemas de climatização, para que os colaboradores da Sondar.i possam realizar as suas tarefas num ambiente confortável.

6. Análise de medidas de eficiência energética

Neste capítulo são apresentados os sistemas de climatização e a respetivos dados obtidos da simulação destes no programa *Desingbuilder*®, estes sistemas foram simulados de forma simples, isto é, no separador HVAC é definido o tipo de sistema e neste mesmo separador podem ser controladas variáveis como o combustível utilizado, as eficiências associadas aos equipamentos de climatização e o horário de funcionamento.

Durante a visita realizada ao edifício ficou claro que o mais importante é climatizar os espaços no período do Inverno, por ser mais difícil trabalhar rentavelmente com as temperaturas baixas do que com as temperaturas elevadas durante o Verão. Então vão ser estudados três diferentes níveis de serviços proporcionados pelo sistema de climatização, são estes:

- Aquecimento;
- Aquecimento e arrefecimento;
- Aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica.

Os espaços climatizados são apenas os espaços de escritórios, nomeadamente o “Escritório 1”, “Escritório 2”, “Escritório 3”, “Escritório 4”, “Escritório amplo”, “Sala de Reuniões”, “Escritório Armazém” e o “Laboratório”.

6.1 Sistema 1

O primeiro sistema a ser estudado e simulado no software para o edifício em estudo, o aquecimento é constituído por uma caldeira a gás natural que aquece água distribuída por radiadores instalados em cada espaço a climatizar, e o arrefecimento é feito por um sistema de ar condicionado, por último será analisado o sistema de aquecimento, arrefecimento em conjunto com um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor.

6.1.1 Aquecimento

A primeira opção estudada para um sistema de climatização só de aquecimento é uma caldeira a gás natural com um rendimento de 80%. Como o aquecimento do edifício é necessário durante a estação de inverno, que de acordo com os parâmetros do zoneamento climático determinados pela legislação em vigor, têm duração de 6 meses para a localização do edifício da Sondar.i, foi criado um perfil de operação para o aquecimento, que determina o funcionamento deste nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro.

Na figura 24 está representada a desagregação de consumos do edifício, onde as barras a vermelho representam os consumos mensais deste sistema de aquecimento. No total, o consumo anual de gás para climatizar o edifício da Sondar.i é de 11 219kWh/ano.

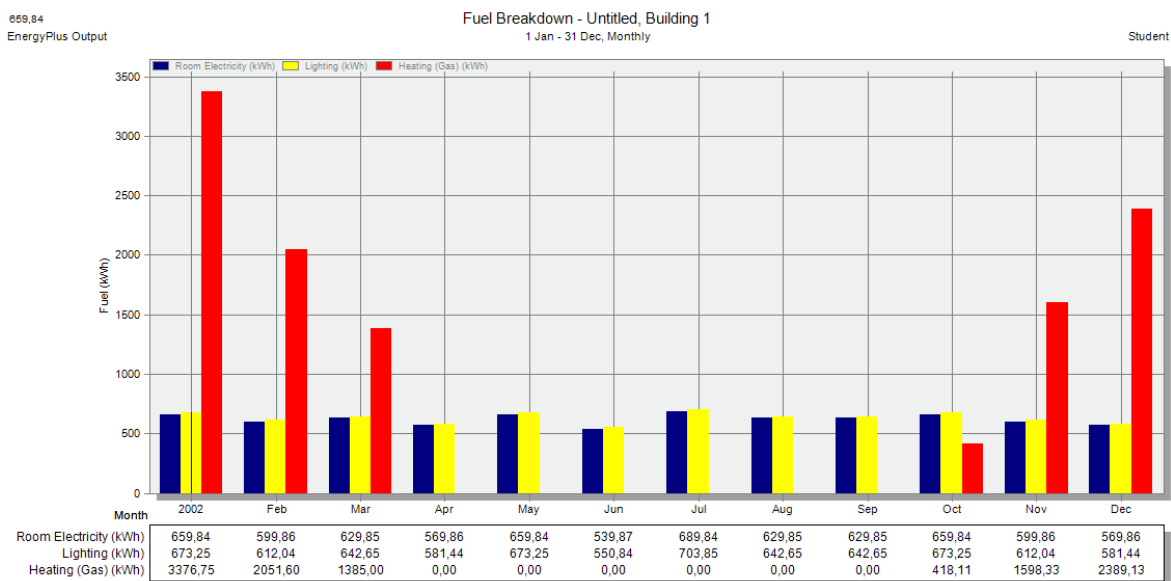


Figura 24 – Desagregação de consumos para a caldeira a gás

Para garantir as condições de conforto, foi determinado que o sistema deveria aquecer e manter cada espaço climatizado a temperatura de 20°C. Na figura 25 pode-se confirmar que este objetivo é atingido, o gráfico representado nesta figura indica, a azul claro, os valores da temperatura do ar nos espaços climatizados, neste caso o “Escritório 2”.

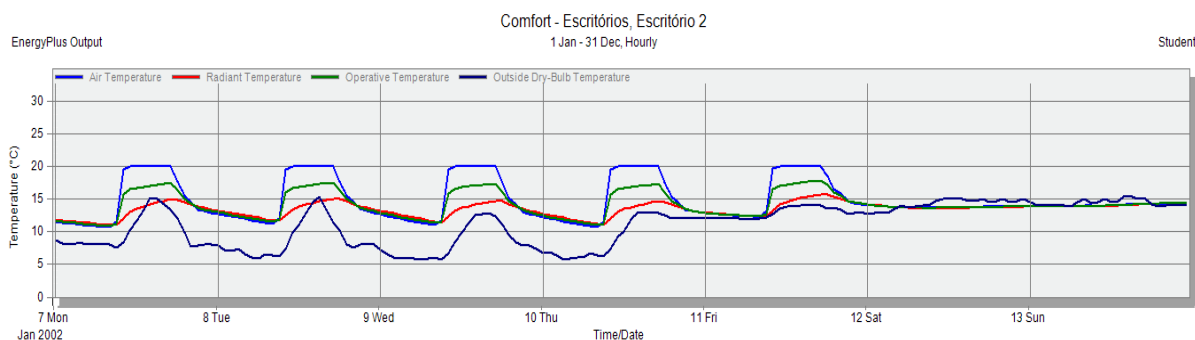


Figura 25 – Temperatura do ar no “Escritório 2” com aquecimento (caldeira a gás)

6.1.2 Aquecimento e Arrefecimento

Nesta abordagem, o sistema de climatização é composto pela caldeira a gás natural e um sistema de ar condicionado com um COP de 2.8 para garantir o arrefecimento dos espaços nos meses de Verão, nomeadamente os meses de junho, julho e agosto. O sistema de ar condicionado considerado é um sistema com uma unidade exterior e uma unidade interior em cada espaço climatizado.

Na figura 26 está representada a dessegregação de consumos do edifício, neste caso com os consumos eletricidade necessários para arrefecer o ambiente no interior dos espaços climatizados. O consumo do sistema de arrefecimento é representado pelas barras azuis claras que aparecem nos meses de Verão. No total, o consumo de eletricidade necessário para climatizar os escritórios da Sondar.i é de 588 kWh/ano.

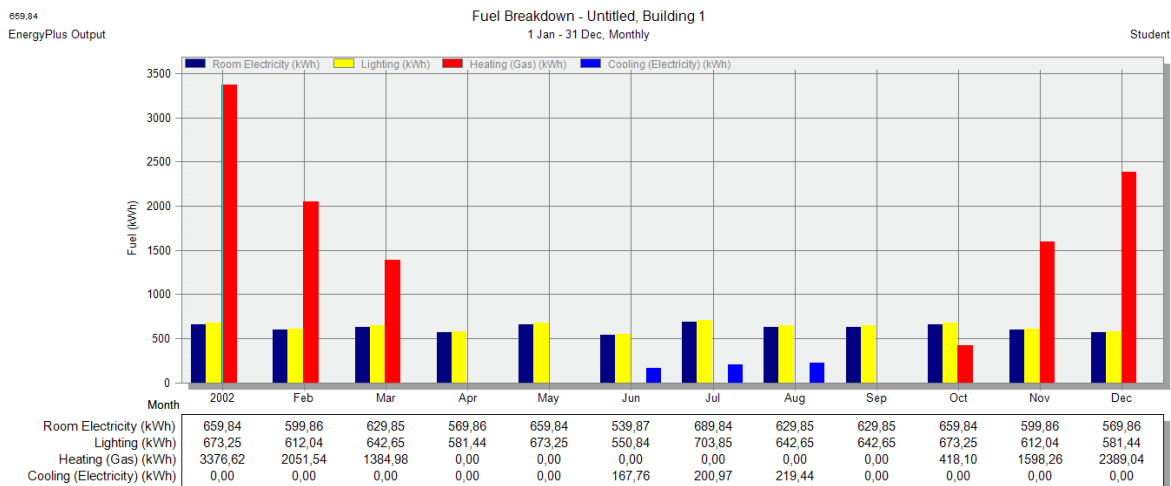


Figura 26 - Desagregação de consumos para a caldeira a gás e ar condicionado

Para garantir as condições de conforto nos meses de Verão, foi determinado que o sistema deveria arrefecer e manter cada espaço climatizado a temperatura de 25°C. Na figura 27 pode-se confirmar que esta objetivo é atingido, o gráfico representado nesta figura indica, através da linha azul claro, que a temperatura do ar nos espaços climatizados não ultrapassa os 25°C durante o horário de funcionamento do sistema de arrefecimento, isto é, das 9h as 18h.

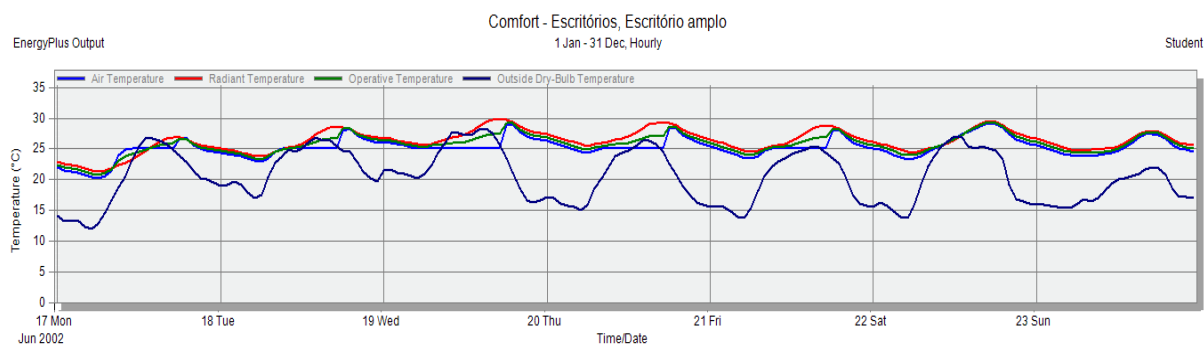


Figura 27 - Temperatura do ar no “Escritório amplo” com arrefecimento (ar condicionado)

6.1.3 Aquecimento, Arrefecimento e Ventilação Mecânica

Aos sistemas de aquecimento e arrefecimento que garantem a climatização do edifício, pode-se adicionar um sistema de ventilação mecânica para promover a renovação do ar no interior do edifício e garantir a qualidade do ar. Mas a constante renovação do ar leva a perdas de calor, para minimizar as perdas de calor foi considerado um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor.

Na figura 28 são apresentados os consumos associados a um sistema de climatização com as três componentes: aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica. Ao comparar os resultados desta simulação com os resultados da simulação só com aquecimento e arrefecimento verifica-se que o consumo de gás natural aumentou um pouco, este aumento do consumo de energia deve-se a necessidade de aquecer o ar novo que é introduzido no edifício pela ventilação mecânica. No entanto, pela mesma razão o consumo energético associado ao sistema de arrefecimento diminuiu um pouco.

Com a ventilação mecânica são necessários 11 505 kWh/ano para garantir a temperatura pretendida a estação de aquecimento, em contrapartida só são necessários 545 kWh/ano para arrefecer o edifício durante a estação de arrefecimento.

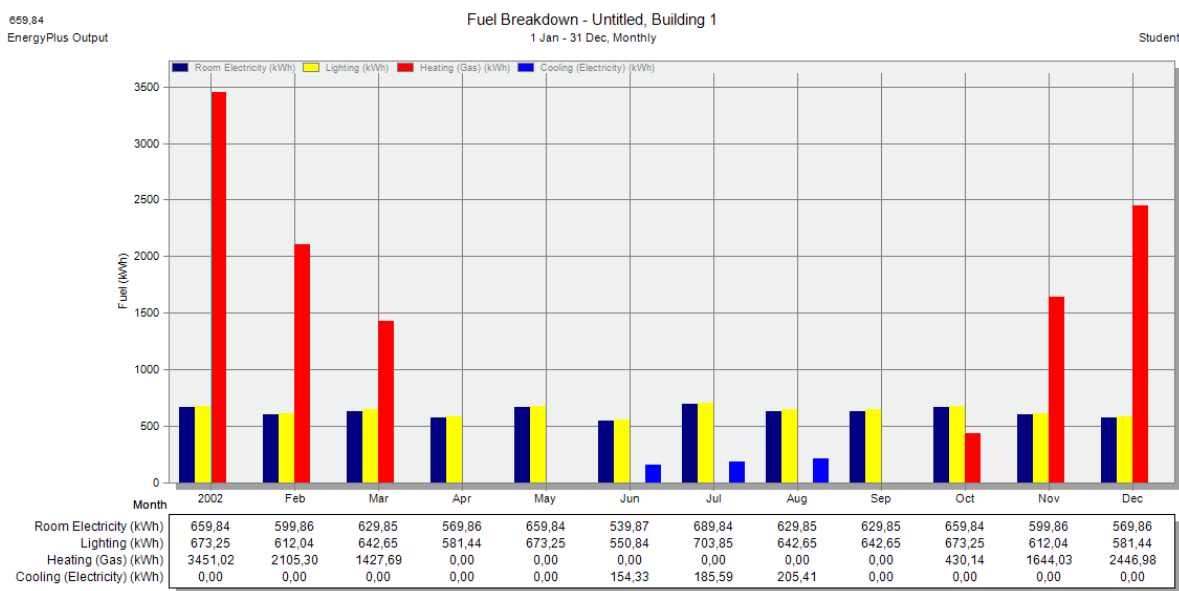


Figura 28 - Desagregação de consumos para caldeira, ar condicionado e ventilação mecânica

6.2 Sistema 2

Para o segundo sistema estudado e simulado no software para o edifício em estudo, o aquecimento é feito com uma bomba de calor do tipo ar-ar e o arrefecimento é feito por um sistema de ar condicionado, por último será analisado o sistema de aquecimento, arrefecimento em conjunto com um sistema de ventilação mecânica.

6.2.1 Aquecimento

Para este sistema de climatização, o aquecimento é realizado com uma bomba de calor e foi considerado um COP de 3,8. O aquecimento do edifício é necessário durante a estação de aquecimento, que de acordo com os parâmetros do zoneamento climático determinados pela legislação em vigor, têm duração de 6 meses para a localização do edifício da Sondar.i. Assim foi criado um perfil de operação para o aquecimento, que determina o funcionamento deste nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro.

Na figura 29 está representada a desagregação de consumos do edifício, onde as barras a rosa representam os consumos mensais para este sistema de aquecimento. No total, a bomba de calor consome anualmente 2 318 kWh/ano para climatizar os espaços de escritório do edifício da Sondar.i

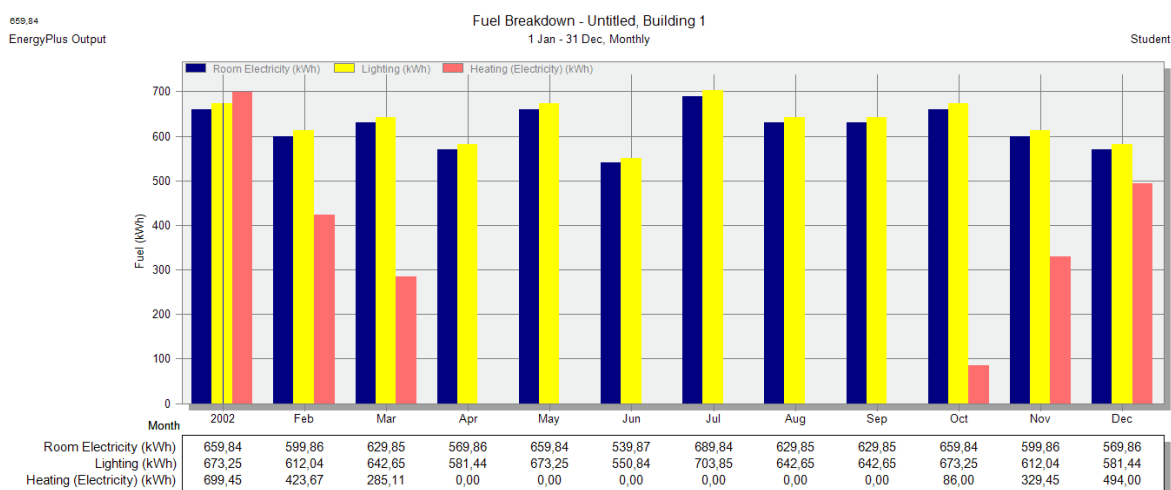


Figura 29 – Desagregação de consumos para a bomba de calor

Para garantir as condições de conforto, foi determinado também para este sistema a temperatura de 20°C como o objetivo alcançar pela bomba de calor e assim garantir um ambiente confortável a maioria dos utilizadores destes espaços, tal como para o aquecimento do sistema 1

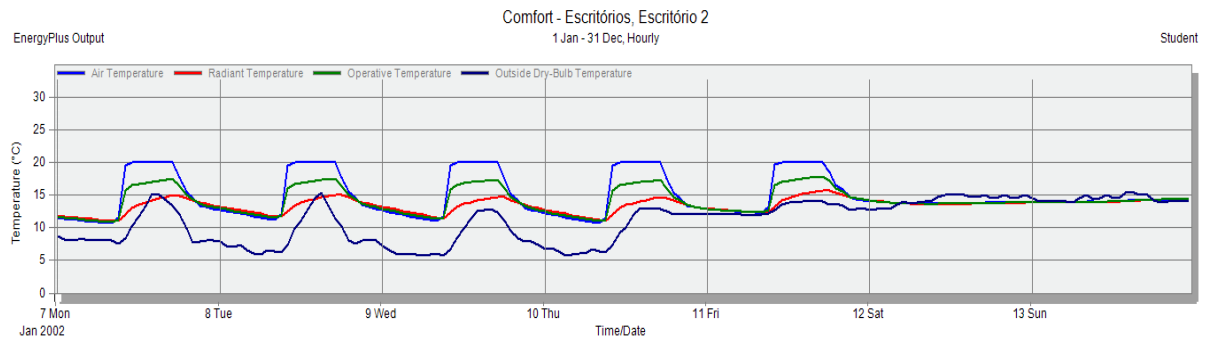


Figura 30 - Temperatura do ar no “Escritório 2” com aquecimento (bomba de calor)

6.2.2 Aquecimento e Arrefecimento

Nesta abordagem, a bomba de calor utilizada para o aquecimento é completada com um sistema de ar condicionado com um COP de 2.8 para garantir o arrefecimento dos espaços nos meses de Verão, nomeadamente os meses de Junho, Julho e Agosto. O sistema de ar condicionado considerado é um sistema com uma unidade exterior e uma unidade interior em cada espaço climatizado.

Na figura 31 está representada a desagregação de consumos do edifício, neste caso com os consumos eletricidade necessários para arrefecer o ambiente no interior dos espaços climatizados. O consumo do sistema de arrefecimento é representado pelas barras azuis claras que aparecem nos meses de Verão. No total, o consumo de eletricidade necessário para climatizar os escritórios da Sondar.i é de 600 kWh/ano.

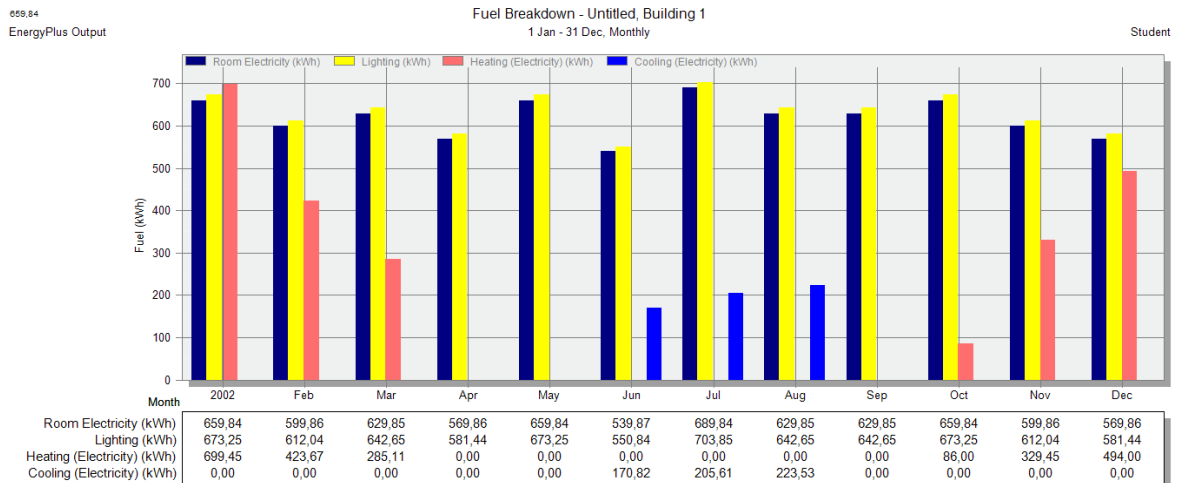


Figura 31 - Desagregação de consumos para bomba de calor e ar condicionado

Para garantir as condições de conforto nos meses de Verão, foi determinado que o sistema deveria arrefecer e manter cada espaço climatizado a temperatura de 25°C. Na figura 32 pode-se observar a variação da temperatura do ar, linha azul clara, para uma típica semana de Verão não ultrapassa os 25°C durante o horário de funcionamento do sistema de arrefecimento, isto é, das 9h as 18h.

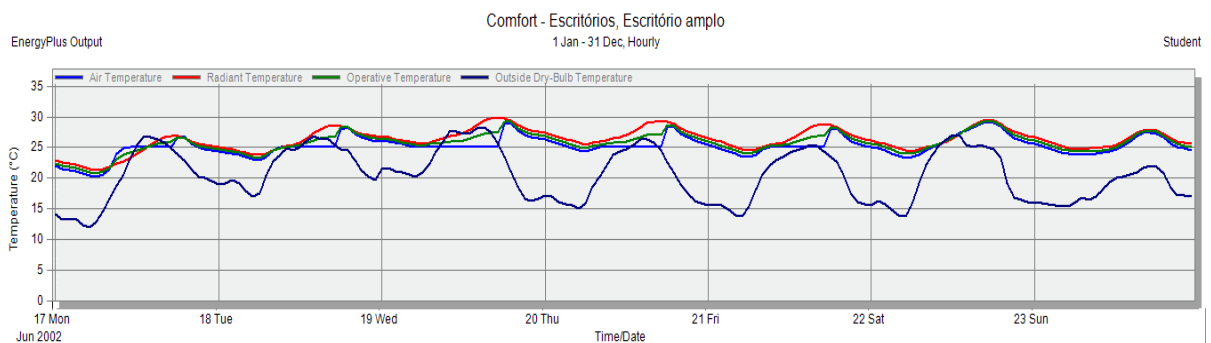


Figura 32 - Temperatura do ar no “Escritório amplo” com arrefecimento (ar condicionado)

6.2.3 Aquecimento, Arrefecimento e Ventilação Mecânica

Para este cenário, foi adicionado aos sistemas de aquecimento e arrefecimento que garantem a climatização do edifício, um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor para promover a renovação do ar no interior do edifício e garantir a qualidade do ar.

Na figura33 são apresentados os consumos associados ao sistema de climatização com as três componentes: aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica. Ao comparar os resultados desta simulação com os resultados da simulação só com aquecimento e arrefecimento verifica-se que os consumos com aquecimento aumentaram ligeiramente, para compensar as perdas de calor através da renovação de ar e manter a temperatura pretendida. Pela mesma razão o consumo energético associado ao sistema de arrefecimento diminuiu, nesta situação as perdas de calor através da ventilação mecânica tornam-se benéficas para o sistema.

Com a ventilação mecânica associada a bomba de calor e ao ar condicionado são necessários 2 378 kWh/ano para garantir a temperatura pretendida a estação de aquecimento e 556 kWh/ano para arrefecer o edifício durante a estação de arrefecimento.

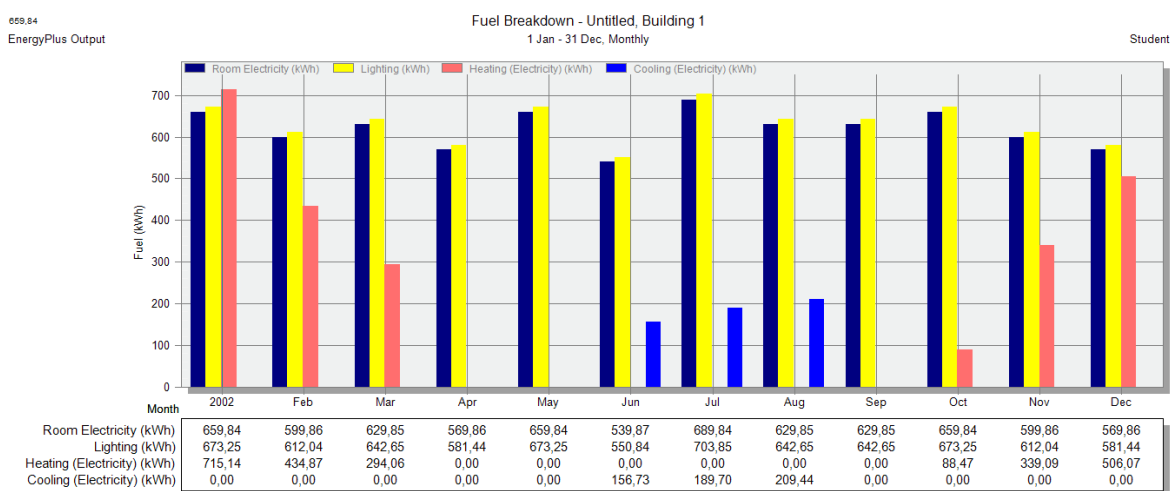


Figura 33 - Desagregação de consumos para bomba de calo, ar condicionado e ventilação mecânica

6.3 Iluminação

Apesar da instalação de um sistema de climatização apropriado ser uma prioridade para poder garantir as condições de conforto, não deixa de ser importante avaliar medidas de poupança energética. Num capítulo anterior foi observado que a iluminação é responsável por 25% dos consumos de eletricidade, portanto representa uma oportunidade para uma medida de poupança energética.

Na iluminação pode-se substituir as lâmpadas existentes por lâmpadas LED do mesmo tipo, isto é tubulares com a configuração “Tubo de LED 220v 9w “⁹, desta forma não é necessário trocar as luminárias existentes. Na tabela 6 estão calculados os valores da potência por m² necessários para introduzir no simulador.

Tabela 6 – Potência por m², para lâmpadas LED

	Nº lâmpadas	W	t _{operação}	kWh/ano
Armazém	22	198	3 024	599
Balneários	8	72		218
Escritórios Armazém	8	72		218
Laboratório	16	144		435
Corredor 1	2	18		54
Corredor 2	2	18		54
Corredor 3	8	72		218
Corredor 4	2	18		54
Escritório 1	4	36		109
Escritório 2	6	54		163
Escritório 3	8	72		218
Escritório 4	12	108		327
Escritório Amplo	24	216		653
Sala de Reuniões	8	72		218
WC1	4	36		109
WC2	4	36		109
WC3	4	36		109
TOTAL				3 865

No gráfico da figura 26 estão representados o consumo de eletricidade mensal destinado a iluminação na configuração atual, com lâmpadas fluorescentes, e o consumo de eletricidade mensal se trocarmos a lâmpadas existentes por tecnologia LED. No total, atualmente são consumidos 7 729 kWh por ano com a iluminação instalada, com a substituição das lâmpadas só seriam consumidos 3 865 kWh/ano.

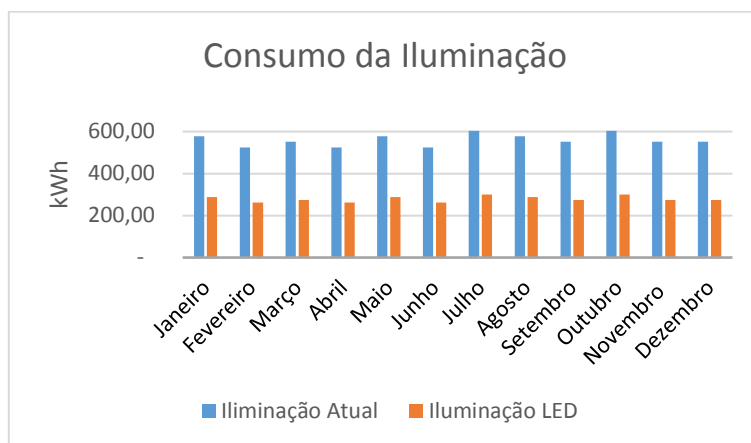


Figura 34 – Consumos com a iluminação atual e LED

7. Análise económica

Para a análise económica das medidas de climatização e de melhoria de eficiência energética são avaliadas em dois pontos, a análise dos custos da instalação da medida e a análise dos custos de operação desta. Para determinar o investimento necessário para implementar as medidas de climatização propostas recorreu-se a uma ferramenta informática chamada “Gerador de preços”¹⁰. Esta ferramenta é uma base de dados que permite ao utilizador obter preços ajustados a realidade para situações de obras, de acordo com a localização geográfica, tipo de material, tipo de equipamento e mão-de-obra necessária.

7.1 Caldeira a Gás Natural

O aquecimento do sistema 1 é constituído por uma caldeira a gás natural responsável pelo aquecimento da água distribuída pelas unidades terminais de climatização, radiadores. Para estimar o investimento para implementar este sistema foi escolhida uma caldeira de condensação de 40kW, além da caldeira é preciso instalar uma chaminé para a exaustão dos fumos da combustão e os radiadores. Assim de acordo com o Gerador de Preços, para a instalação de todo este sistema, é necessário um investimento de 8 232 €.

Tabela 7 – Orçamento para o sistema de aquecimento com caldeira a gás natural

	<i>Preço (€)</i>
<i>Caldeira</i>	4 494,75
<i>Chaminé de exaustão</i>	82,32
<i>Radiadores</i>	2 223,00
<i>Outros componentes</i>	1 121,17
<i>Mão-de-obra</i>	149,03
<i>Custos complementares</i>	161,41
<i>TOTAL</i>	8 231,68

7.2 Ar Condicionado

O arrefecimento em ambos os sistemas é feito através de dum sistema de ar condicionado, para poder calcular o investimento necessário para implementar este sistema foi escolhida um sistema *multi-split* com uma unidade exterior de 12,5 kW e uma unidade interior por cada espaço climatizado, ou seja, 8 unidades interiores.

Assim de acordo com o Gerador de Preços, para a instalação de todo este sistema, é necessário um investimento de 7 206 €.

Tabela 8 – Orçamento para o sistema de ar condicionado

	Preço (€)
Unidade Exterior	3 945,83
Unidades Interiores	2 808,00
Mão-de-obra	310,92
Custos complementares	141,29
TOTAL	7 206,04

7.3 Bomba de Calor

Aclimatização no segundo sistema estudado é realizado com um sistema de bomba de calor ar-ar com potência nominal de 18 kW e o ar climatizado é distribuído através de um sistema de ventilação do tipo *fan-coil*, com um ventilador em cada espaço climatizado. Então de acordo com o Gerador de Preços, para a instalação de todo este sistema, é necessário um investimento de 13 245 €.

Tabela 9 – Orçamento para o sistema de aquecimento com bomba de calor

	Preço (€)
Bomba de Calor	7 827,33
Fan-coil	3 131,20
Outros componentes	1 042,08
Mão-de-obra	985,37
Custos complementares	259,72
TOTAL	13 245,70

7.4 Ventilação Mecânica

Para o montar o sistema de ventilação mecânica é necessário um grupo de ventilação composto por um ventilador centrífugo, múltiplas entradas para as condutas de extração de ar interior e um uma saída para a conduta de extração ligada ao exterior, grelhas para s condutas interiores e exteriores, e um recuperador de calor. Então de acordo com o Gerador de Preços, para a instalação de todo este sistema, é necessário um investimento de 1 258 €.

Tabela 10 – Orçamento para o sistema de ventilação mecânica

	<i>Preço (€)</i>
<i>Grupo de ventilação</i>	192,06
<i>Grelhas interiores</i>	98,8
<i>Grelha exterior</i>	91,36
<i>Recuperador de calor</i>	793,44
<i>Outros componentes</i>	10,14
<i>Mão-de-obra</i>	67,73
<i>Custos complementares</i>	4,63
<i>TOTAL</i>	1 258,16

7.5 Custos de operação

Por último é preciso determinar a despesa com a operação dos vários sistemas de aquecimento, arrefecimento e aquecimento e arrefecimento com ventilação mecânica. Desta forma prevê-se as despesas futuras com o sistema de climatização mais adequado ao edifício em estudo.

Para o aquecimento o sistema 1 é sem dúvida o sistema com maiores consumos de energia, tal acontece por causa do aquecimento com caldeira a gás natural que necessita de muito combustível para atingir e manter a temperatura dos espaços pretendida. Em contraste temos o aquecimento do sistema 2, realizado com uma bomba de calor, que utiliza muito menos energia para manter os espaços climatizados.

Tabela 11 - Despesa associada ao sistema de climatização atual

<i>Climatização atual</i>	<i>Consumo anual (kWh/ano)</i>	<i>Tarifário (€/kWh)</i>	<i>Despesa final (€/ano)</i>
<i>Aquecedores elétricos</i>	16 178	0,2041	3 301,93

Tabela 12 – Despesa associada aos três níveis de climatização do Sistema 1

<i>Sistema 1</i>		<i>Consumo anual (kWh/ano)</i>	<i>Tarifário (€/kWh)</i>	<i>Despesa final (€/ano)</i>
<i>Caldeira a gás natural</i>		11 219	0,0631 ²	707,92
<i>Ar condicionado</i>		588	0,2041 ³	120,01
<i>Ventilação Mecânica</i>	Aquecimento	11 505	0,0631	725,97
	Arrefecimento	545	0,2041	111,30

Tabela 13 - Despesa associada aos três níveis de climatização do Sistema 2

<i>Sistema 2</i>		<i>Consumo anual (kWh/ano)</i>	<i>Tarifário (€/kWh)</i>	<i>Despesa final (€/ano)</i>
<i>Bomba de Calor</i>		2 318	0,2041	473,10
<i>Ar condicionado</i>		600	0,2041	122,46
<i>Ventilação Mecânica</i>	Aquecimento	2 378	0,2041	485,35
	Arrefecimento	556	0,2041	113,48

A implementação da ventilação mecânica juntamente com os sistemas de aquecimento e arrefecimento é interessante pois garante a qualidade do ar interior. No entanto, a introdução de ar novo no edifício, durante a estação de arrefecimento, obriga o sistema de aquecimento a consumir mais energia para climatizar o ar novo. Para ambos os sistemas se verifica um aumento de consumo de energia no aquecimento em comparação com o mesmo sistema mas

² De acordo com a Galp – Gás Natural, o tarifário aplicável é de 0,0513 €/kWh (Escala3), ao qual é somado o IVA a 23%

³ De acordo com a EDP para a potência contratada atualmente, de 20kVA e horário simples, o tarifário aplicado é de 0,1659 €/kWh , ao qual é somado o IVA a 23%.

sem ventilação mecânica. A diferença de consumos de energia é mais evidente no sistema 1, com a caldeira a gás.

Quando analisamos o arrefecimento a funcionar em simultâneo com a ventilação mecânica nota-se uma diminuição no consumo do ar condicionado, o ar novo introduzido no edifício é benéfico quando pretendemos arrefecer o ambiente.

A alteração da atual forma de climatização do edifício, aquecedores elétricos, por qualquer um destes dois sistemas estudados é recomendada, pois quando comparamos os consumos atuais com os previstos para ambos os sistemas quer com aquecimento, aquecimento e arrefecimento ou aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica, os consumos de energia são muito inferiores, assim como a despesa final.

7.6 Iluminação

A substituição das lâmpadas atualmente instaladas por outras com a mesma iluminância, mas potencia mais baixa é uma medida de eficiência energética facilmente aplicável. Neste caso as lâmpadas escolhidas para substituir as atuais são lâmpadas com a mesma configuração, mas tecnologia LED.

Tabela 14 - Poupança económica, com lâmpadas LED

	<i>Consumo atual (kWh/ano)</i>	<i>Consumo LED (kWh/ano)</i>	<i>Preço eletricidade (€/kWh)</i>	<i>Despesa atual (€)</i>	<i>Despesa com LED (€)</i>	<i>Poupança (€)</i>
<i>Lâmpadas LED</i>	7 729	3 865	0,1659	1 282,30	641,15	641,15

As lâmpadas LED “Tubo de LED 220v 9w”⁹ custam a quantia de 7,02 €, se comprarmos as lâmpadas necessárias o custo com a implementação desta medida é de 996,84 €.

Apesar de o investimento inicial poder ser considerado eleva, esta substituição reduz para metade a fatura de energia gasta com a iluminação.

Para calcular o tempo e retorno de capital, isto é, o número de anos em que a poupança na fatura energética derivada da substituição da iluminação, tem de se dividir o valor do investimento, pelo valor da poupança económica, para esta substituição de lâmpadas o tempo de retorno de capital é de 1,6 anos.

8. Conclusão

8.1 Conclusões gerais

O objetivo deste trabalho foi alcançado, na medida em que se pretendia analisar os consumos de uma fração do edifício, onde se localiza a Sondar.i, para entender quais os excessos de consumo que estavam a ocorrer e estudar medidas de implementação de sistemas e equipamentos alternativos que promovessem a poupança energética, mas principalmente estudar a implementação de um sistema de climatização adequado.

Para avaliar os gastos energéticos do edifício, criou-se um modelo de consumos efetivos com a ferramenta do Excel. Este modelo serviu também para validar a informação recolhida durante a visita ao edifício, sobre a potência dos equipamentos existentes e sobre os horários de funcionamento. Este tipo de avaliação dos gastos energéticos foi preferido ao modelo de simulação dinâmica por não existirem valores reais do consumo mensal de energia elétrica deste edifício.

O edifício em estudo foi criado e parametrizado no *Desingbuilder*®, de acordo com a sua geometria, localização, construção, equipamentos instalados, horários de funcionamento, taxas de ocupação, sistemas AVAC, ou a inexistência destes. Toda esta informação foi recolhida na visita ao edifício e em documentação referente ao projeto de construção.

Depois de criado o modelo podemos simular os vários sistemas de climatização e outras medidas de poupança energética. Para os sistemas de climatização foram testados dois sistemas com três níveis de climatização: aquecimento; aquecimento e arrefecimento; aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica, e as tecnologias mais apelativas no mercado.

Para climatizar do edifício só com aquecimento temos duas opções um sistema de climatização central com uma caldeira a gás natural com distribuição de calor através de radiadores a água ou um sistema de climatização central com bomba de calor e distribuição de calor através de ventiladores de ar. Devido principalmente a diferença entre os coeficientes de rendimento destes sistemas, a bomba de calor consome muito menos energia para atingir as condições de conforto pretendidas durante a estação de aquecimento, em comparação a caldeira a gás natural e apesar do baixo preço do gás natural, o custo final da

energia necessária para a bomba de calor climatizar o edifício, faz deste um sistema mais apelativo.

O processo de arrefecimento para o Sistema 1 e 2 é igual, este processo é realizado por um sistema de ar condicionado que mantém os escritórios deste edifício a uma temperatura de 25°C nos dias mais quentes do ano.

Para o caso do sistema de climatização com aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica, o objetivo é assegurar as condições de climatização ideais durante o Inverno e o Verão e garantir uma renovação constante do ar interior e a sua qualidade. Mas quando se introduz a ventilação mecânica num edifício é necessário climatizar também o ar novo introduzido no edifício, o que vai alterar os consumos dos sistemas de aquecimento e arrefecimento.

Em ambos os sistemas com ventilação mecânica, os equipamentos de aquecimento têm um consumo energético um pouco mais elevado, pois é necessário aquecer o caudal de ar novo introduzido no edifício pelo sistema de ventilação mecânica, o que consequentemente aumenta um pouco os custos com a energia consumida. No entanto, a interação da ventilação mecânica com o sistema de arrefecimento é positiva, neste caso o caudal de ar introduzido no edifício contribui positivamente para o seu arrefecimento, o que diminui a energia consumida pelo processo de arrefecimento.

Concluindo, o sistema de climatização com a bomba de calor é o mais apelativo pelos baixos consumos associados os três níveis de climatização estudados, mas também pelo investimento necessário para instalação desta tecnologia, principalmente se a bomba de calor for reversível, isto é, se durante o inverno é uma bomba de calor e no período de verão funcionar como sistema de ar condicionado.

Por último foi também analisado a substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas com as mesmas características, mas tecnologia LED. Esta medida apesar de um pouco dispendiosa no investimento, vale definitivamente a pena prova disso é o tempo de retorno de capital de 1,6 anos.

8.2 Proposta para trabalho futuro

Para a complementação deste projeto, podem ser estudadas outros sistemas de climatização como diferentes tipos de caldeiras e diferentes combustíveis, assim como a viabilidade de instalação de painéis solares térmicos como parte de um sistema de aquecimento com água.

Podem ainda ser estudado o impacto de outras medidas de eficiência, como a instalação de palas na fachada envidraçada do edifício, a substituir as atuais janelas por janelas com tecnologia dos materiais de mudança de fase, ou estudar como os consumos são afetados pelo comportamento descuidado dos utilizadores e determinar a poupança energética e económica de comportamentos cuidados e responsáveis, como por exemplo ligar a iluminação apenas quando é necessário.

9. Bibliografia

1. ADENE - Agência para a Energia. at <<http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>>
2. Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. & Van Den Dobbelsteen, A. A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **26**, 201–215 (2013).
3. Antoniadou, P. & Papadopoulos, A. M. Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings. *Energy and Buildings* **153**, 136–149 (2017).
4. Agência Portuguesa do Ambiente & Laboratório Referência do Ambiente. Qualidade do Ar em Espaços Interiores. (2009). at <[https://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias e Manuais/manual QArInt_standard.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArInt_standard.pdf)>
5. Enquadramento | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. at <<http://www.adene.pt/sce/enquadramento-0>>
6. Portaria n.º 353-A/2013 : valores mínimos de caudal de ar novo. *Diário da República* (2013).
7. Decreto-Lei N.º 118/2013. *Diário da República* 4988–5005 (2013).
8. Classe Energética. at <http://www.adene.pt/sites/default/files/imagens/160519_escala-icon-metrica.png>
9. Lâmpadas LED T8 9W. at <<http://www.virtualleds.com/pt/tubos-led/1953-tubo-led-t8-9w-25w-60cm-luznatural-1-200lm-nanoplastic-rt-hi-3800157617352.html>>
10. Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A. at <<http://www.geradordeprecos.info/>>